



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Energineutralt byggeri

Designprincipper og byggede eksempler for enfamiliehuse

Knudstrup, Mary-Ann; Bejder, Anne Kirkegaard

Publication date:
2014

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Knudstrup, M-A., & Bejder, A. K. (red.) (2014). *Energineutralt byggeri: Designprincipper og byggede eksempler for enfamiliehuse*. SBI forlag. <http://www.zeb.aau.dk/Publikationer/booklets/>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

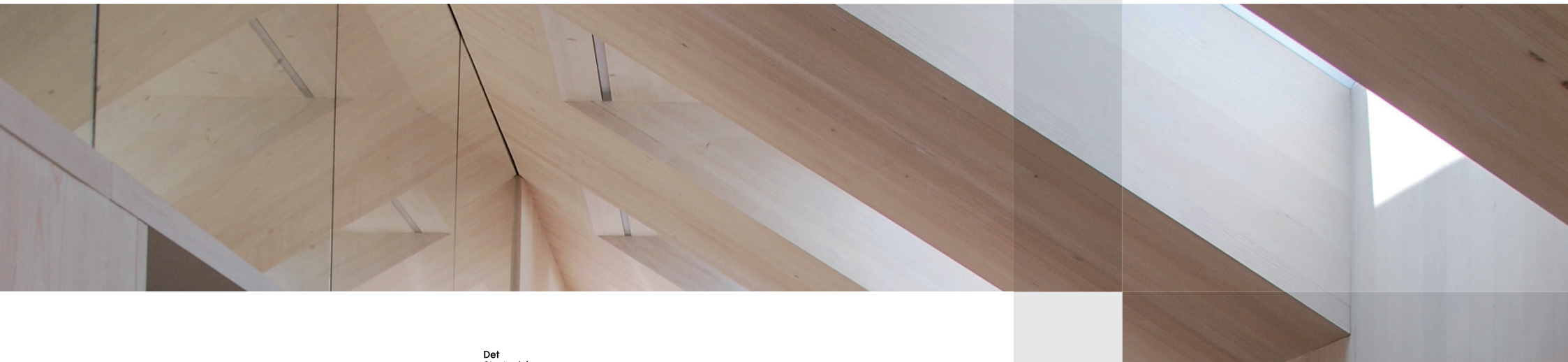
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ENERGINEUTRALT BYGGERI

DESIGNPRINCIPPER
OG BYGGEDE EKSEMPLER

For enfamiliehuse



TITEL	Energineutralt Byggeri - Designprincipper og byggede eksempler for enfamiliehuse
UDGAVE	1. udgave
UDGIVELSEÅR	2014
FORFATTERE	Anne Kirkegaard Bejder, Mary-Ann Knudstrup, Rasmus Lund Jensen, Ivan Katic
REDAKTION	Mary-Ann Knudstrup & Anne Kirkegaard Bejder
SPROG	Dansk
SIDETAL	60
REFERENCER	Side 56-58
ISBN	978-87-563-1601-9
ILLUSTRATIONER	Anne Kirkegaard Bejder, med mindre andet er nævnt. Oversigt side 55.
FOTOS	Oversigt s. 59
LAYOUT	Louise Kragelund, Novagraf A/S
TRYK	Novagraf A/S
UDGIVER	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbj.aau.dk www.sbj.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.

Layout og trykning af denne publikation er gjort mulig med ALECTIA Prisen 2010, der blev tildelt Strategisk Forskningscenter for Energineutralt Byggeri af ALECTIA Fonden.

Tak til forskere og ph.d. studerende i ZEB, hvis viden indenfor energineutralt byggeri har bidraget til denne publikation. De fulde bidrag kan findes i det publicerede materiale på www.zeb.aau.dk.

Tak til centerets Advisory Board, Gudrun Schack Østergaard fra Friis & Moltke, Claus Topp fra NIRAS, Ditte M Jørgensen fra Teknologisk Institut, Lind & Risør A/S og HHM A/S for input og kommentarer.

Publikationen er udarbejdet under Strategisk Forskningscenter for Energineutralt Byggeri (www.zeb.aau.dk). Centeret består af et forskningssamarbejde mellem forskningsinstitutioner og private virksomheder. Blandt forskningsaktiviteterne er 17 ph.d. projekter. Forskningscenteret er etableret med støtte fra Det Strategiske Forskningsråd, Programkomiteen for Bæredygtig Energi og Miljø.



CENTERETS PARTNERE ER:

Aalborg Universitet (AAU)
Danmarks Tekniske Universitet (DTU)
Teknologisk Institut (TI)
Statens Byggeforskningsinstitut (SBI)
Danfoss A/S
VELUX A/S
Saint-Gobain ISOVER A/S
Affald VarmeAarhus
Dansk Byggeri, Alufacadesektionen

CENTERETS STYREGRUPPE:

Per Heiselberg, AAU
Mary-Ann Knudstrup, AAU
Anna Marszal, AAU
Svend Svendsen, DTU
Søren Østergaard Jensen, TI
Kim Wittchen/Søren Aggerholm, SBI
Peter Andersen, Danfoss
Karsten Duer, VELUX
Susanne Højholdt/Erling Jessen, ISOVER
Mette Rude, Affald VarmeAarhus
Carsten Pedersen, Dansk Byggeri

FORORD

Nærværende publikation indgår i en række af publikationer, der er udgivet indenfor Strategisk Forskningscenter for Energieutralt Byggeri:

- Energieutralt byggeri
 - Definition og fremtidig rolle i samfundet.
- Energieutralt byggeri
 - Designprincipper og byggede eksempler for enfamiliehuse
- Energieutralt byggeri
 - Tekniske løsninger

Disse publikationer formidler centerets forskning indenfor bæredygtigt byggeri til praksis. I nærværende publikation indgår egen forskning, viden genereret af centerets forskere, ligesom der henvises til resultater fra centerets ph.d. studerende.

Denne publikation er en del af centerets arbejdsplan 1, der fokuserer på udviklingen af energieutralt byggeri på konceptniveau. Som en del af arbejdsplanen er der i et postdoc projekt indsamlet ny viden indenfor energieutralt byggeri, med det formål at klarlægge og italesætte tekniske og arkitektoniske udfordringer forbundet med udviklingen af helhedsorienterede energieutrale bygninger, samt udfordringer relateret til brugeradfærd.

Publikationen henvender sig primært til praktiserende arkitekter og ingeniører. Derudover kan publikationen måske give den interesserede bruger samt professionelle og private bygherrer et overordnet indblik i forskellige aspekter indenfor energieutralt byggeri, og herved lette dialogen og danne grundlag for samarbejdet mellem bruger/bygherre og de rådgivende parter.

Mary-Ann Knudstrup, Redaktør, Prof. Aalborg Universitet
Anne Kirkegaard Bejder, Redaktør, Postdoc, Aalborg Universitet
Per Heiselberg, Centerleder, Prof. Aalborg Universitet

At designe en energieutral bygning er en kompliceret opgave, og for at opnå et godt resultat er det nødvendigt at inddrage bred viden. Det kræver derfor et samarbejde mellem forskellige faggrupper samt mellem generalisten og specialisten fra begyndelsen af processen. Denne publikation har til formål at understøtte den integrerede designproces og samarbejdet mellem forskellige faggrupper. Fagområderne er derfor behandlet på et generelt niveau, så ingeniøren kan få et indblik i de virkemidler, som arkitekten arbejder ud fra og omvendt. Specialistviden må indhentes efterfølgende afhængig af det givne projekt.

Gennem en tværfaglig tilgang til arkitektur og bygningsdesign og med udgangspunkt i en integreret designproces vil denne publikation:

- Præsentere en række designstrategier og teknologier, som er særligt afgørende for udviklingen af energieutrale boliger. Disse strategier og teknologier illustreres gennem nogle enkle designprincipper samt byggede eksempler
- Klarlægge tekniske og arkitektoniske potentialer og udfordringer forbundet med designstrategier af afgørende betydning for udvikling af den energieutrale bolig
- Klarlægge tekniske og arkitektoniske potentialer og udfordringer forbundet med anvendelsen af nye teknologier
- Synliggøre både ingeniør- og arkitektfaglige problemstillinger og skabe en større gennemsigtighed, som kan danne udgangspunkt for det tværfaglige samarbejde.

INDHOLD

INTRODUKTION

- Introduktion 8
- Integreret design 10

RAMMERNE - BYGNING & KONTEKST

- Overblik over rammerne 14
- Tilgængelige energikilder 15
- Brugerens 16
- Mikroklimaet 18
- Komfort og indeklima 20
- Energi og miljøprofil 21
- Energieffektive referencer 22

BYGNINGEN - DESIGNPRINCIPPER

- Rum og funktion 26
- Dagslys, rum og funktion 28
- Solafskærmning, rum og funktion 30
- Ventilation 32
- Opvarmning 36
- Materialer og akustik 38
- Klimaskærm 40
- Klimaskærm, vinduer, lys og varme 42

ENERGIFORSYNING - DESIGNPRINCIPPER

- Forsyning, el og varme 46
- Varmepumper 48
- Solfanger 50
- Solceller 52

REFERENCER

- Referencer 56
- Illustrationer og fotos 59



INTRODUKTION



INTRODUKTION

8

Danmarks målsætning om at være et samfund uafhængig af fossile brændsler efter 2050 (Regeringens klimaplan 2013) kalder på betydelig energieffektivisering og forøgelse af den vedvarende energiproduktion. Byggeriet står for ca. 40 % af det samlede energiforbrug i Danmark (Regeringen 2009) og en forbedring af bygningers energieffektivitet er derfor afgørende.

Et vigtigt bidrag hertil er udviklingen af integrerede bygningskoncepter, der designes med et meget lavt energiforbrug og anvender vedvarende energi som kompensation for energi brugt fra fossile energikilder, hvorved der opnås en neutral fossil energibalance. I dag er det nødvendigt at producere den vedvarende energi på bygningen eller ved køb af andel i vedvarende energiproduktion for at opnå energineutralitet. Betingelserne for hvordan en bygning kan gøres energineutral vil ændre sig over tid, efterhånden som den kollektive energiforsyning i stigende grad vil blive baseret på vedvarende energikilder (fig. 1). Ligeledes vil de nære betingelser for den enkelte bolig (som stedets forsyningsmuligheder, grundens placering og topografi, sol-, skygge- og vindforhold samt brugerbehov og adfærd) være forskellig fra projekt til projekt. Disse variabler har stor betydning for den energineutrale boligs performance, og det givne projekt må derfor designes ud fra dets specifikke forudsætninger og/eller med øje for mulige tilpasningsmuligheder.

Denne publikation er en del af det arbejde, der er foretaget i Strategisk forskningscenter for energineutralt byggeri og omhandler udviklingen af energineutrale bygningskoncepter - i dette tilfælde enfamilieboliger.

ENERGINEUTRALT BYGGERI

Strategisk Forskningscenter for Energineutralt Byggeri arbejder ud fra følgende definition af energineutralt byggeri:

Ergineutralt byggeri er designet til at have et lavt energibehov og således, at energibehovet kan dækkes af fossilfri energikilder.

BETINGELSERNE FOR DEN ENERGINEUTRALE BOLIG OVER TID

Bygningen er som udgangspunkt designet med et meget lavt energibehov

Forsyning af vedvarende energi fra nettet.

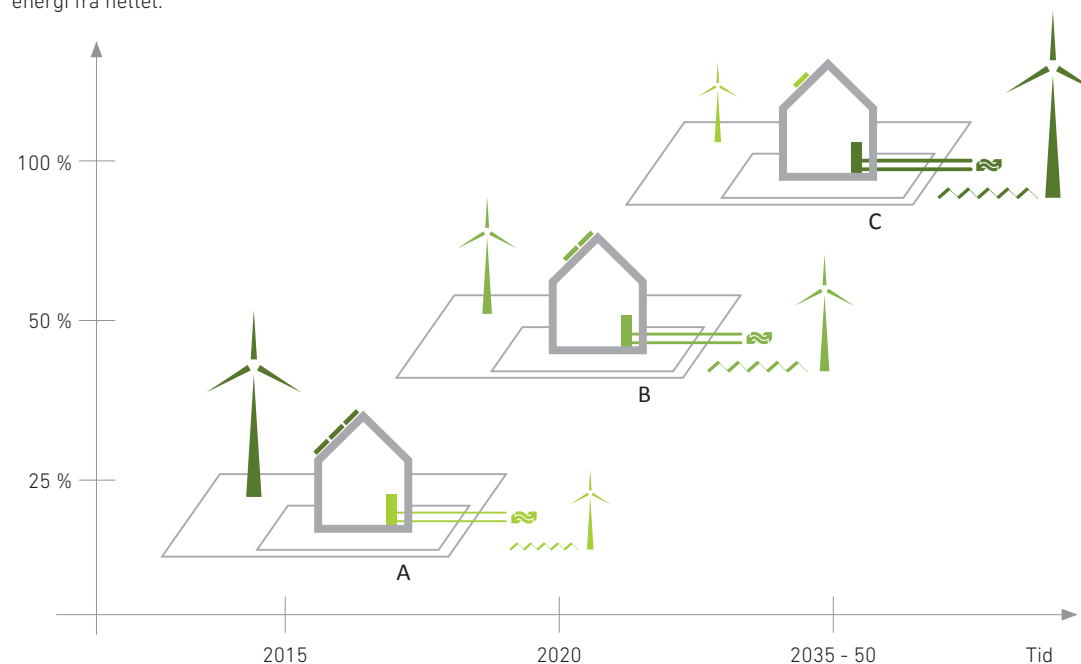


Fig. 1

- A I 2015 er mængden af tilgængelig vedvarende energi fra nettet begrænset. Bygningen kan gøres energineutral ved egenproduktion af energi (el og varme) på bygningen og/eller på grunden.
- B I 2020 er mængden af tilgængelig vedvarende energi fra nettet større. Bygningen kan gøres energineutral ved egenproduktion af energi (el og varme) på bygningen og/eller ved produktion af energi i lokalområdets ejerlav.
- C I 2035 forventes det, at bygningsmassens energibehov kan dækkes af vedvarende energi fra nettet. Desuden kan der suppleres med egenproduktion (el og varme).

Det baseres således på en optimal kombination af energibesparelser og tilførsel af vedvarende energi fra elektriske, termiske og/eller biogasbaserede ledningsnet eller fra et vedvarende energiforsyningssystem på stedet.

Energineutralt byggeri karakteriseres desuden ved et godt indeklima hvad angår temperatur, luftkvalitet, dagslys og akustik, såvel som høj arkitektonisk kvalitet, og er designet med respekt for brugernes behov og adfærd.

Målet er at fjerne de problemer, der er forbundet med brugen af fossil energi ved at skifte til et fuldt ud fossilfrit energisystem. Der bør hovedsageligt udvikles langsigtede løsninger, men i processen bør der også tages højde for overgangen fra det nuværende til det fremtidige energiforsyningssystem. Den optimale løsning vil afhænge af den givne sammenhæng.
(Strategisk forskningscenter for energineutralt byggeri 2014)

EN STRATEGISK TILGANG TIL DESIGN

At designe en energineutral bolig handler ikke alene om at nedbringe boligens energibehov - eller om at producere (vedvarende) energi, der kan dække husstandens energiforbrug. Dette er blot en del af det. En bygning er bæredygtig (holdbar) i det omfang, at den tilbyder dens brugere de rette rammer; gode dagslysforhold, rumoplevelser, funktionalitet, et behageligt indeklima i form af lys, luft, temperaturer og god akustik, samt at bygningens ældes med ynde. Når vi designer fremtidens energineutrale boliger, er det derfor afgørende, at vi har fokus på de helhedsorienterede løsninger, hvor arkitektur, komfort, indeklima og energi går hånd i hånd - ellers er de ganske enkelt ikke bæredygtige i det lange løb.

Udgangspunktet er at designe den energineutrale bolig med et meget lavt energibehov gennem design af bygningen (fx høj-isoleret og lufttæt klimaskærm, effektive lavenergiruder, rumlig organisering, materialevalg, mm.). Boligen designes med vægt

på høj arkitektonisk kvalitet, herunder gode dagslysforhold, udnyttelse af passiv solvarme og mulighed for naturlig ventilation, hvor fokus skiftes mellem detaljen og helheden. Energiforbruget reduceres yderligere gennem design af bygningens tekniske systemer. Bygningens energibehov dækkes gennem energiproducerende systemer, der udvælges og designes til bygningen afhængig af de tilgængelige forsyningssystemer (fig. 2).

Designet analyseres og optimeres løbende gennem hele processen ved brug af passive og aktive tiltag, til det finder sin endelige form og den ønskede performance.

LÆSEVEJLEDNING

Publikationen er tænkt som et opslagsværk, ikke en procesguide, og er bygget op omkring forskellige designstrategier og teknologier, som det er særligt vigtigt at være opmærksom på i udviklingen af nye energineutrale boliger. For at sikre konsistens igennem publikationen, indgår nedenstående elementer i præsentationen af de forskellige designstrategier og teknologier, og disse følger overordnet et layout som illustreret i fig. 3.

1. ASPEKTER I SPIL

Illustrerer hvilke aspekter, der er i spil, når vi arbejder med den enkelte designstrategi/teknologi, samt hvilke virkemidler vi kan arbejde med for at tilgodese både kvalitative og kvantitative aspekter.

2. VÆR OPMÆRKSOM PÅ

Angiver hvad man skal være opmærksom på.

3. DESIGNPRINCIPPER

Enkle designprincipper illustrerer forskellige løsningsrum relateret til designstrategierne/teknologierne samt angiver, hvad man skal være opmærksom på ift. de specifikke løsninger.

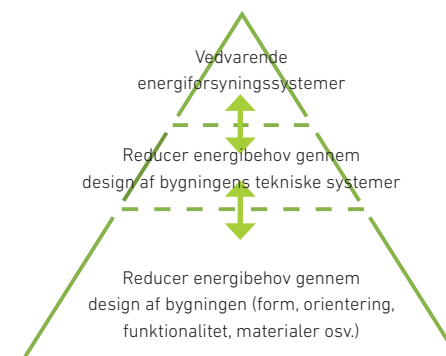


Fig. 2. Overordnet strategi for design af energineutrale bygninger.

4. BYGGEDE EKSEMPLER

Eksempler på hvordan strategien/teknologien kan integreres.

5. HAR DU OVERVEJET....

Hovedafsnit afsluttes med en faktaboks, som samler de vigtigste pointer op i kort form.

6. PROCES

Hvornår skal viden omkring den specifikke strategi/teknologi inddrages i processen - og hvornår skal de endelige beslutninger tages (point-of-no-return).

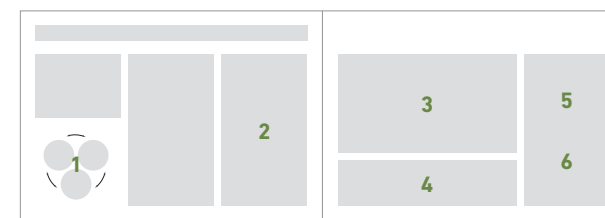


Fig. 3. Diagram over opbygningen af opslagsværket.

INTEGRERET DESIGN

10

At designe en bygning er en kompliceret proces, hvor mange parametre er i spil – parametre der i mange tilfælde er indbyrdes forbundne (fig. 4). Komplexiteten øges yderligere i design af energineutrale bygninger, hvor det forudsætter en fin balance mellem de mange design parametre, hvis bygningen skal kunne opfylde de strenge krav til energi og indeklima, uden at man må gå på kompromis med de kvalitative aspekter. At finde denne balance forudsætter, at der føres en integreret designproces, hvor ingeniør-, design- og arkitektfaglig input løbende informerer projektet gennem designprocessen.

Der findes flere udgaver af den "integrerede design proces" (Knudstrup 2004, 2010, Löhnert et al. 2003). Det vigtigste her er ikke, hvilken model man anvender, eller hvad man kalder de enkelte faser. Det væsentlige er, at et tværfagligt designteam fra starten af processen inddrager viden fra flere fagområder, design-, ingeniør- og arkitektfaglig viden, samt, afhængig af projektet, viden fra udførende parter eller projektets andre interessenter. Det er desuden afgørende, at der løbende foretages beregninger og evaluering af, hvilke konsekvenser de forskellige designløsninger har for bygningens tekniske performance, for brugeren, for arkitekturen osv. Det er vigtigt, at der er overensstemmelse mellem beregningernes detaljeringsniveau og projektets designstadiet.

Et væsentligt element i denne publikation er at fastlægge, hvornår i designprocessen overvejelser omkring designstrategierne/teknologierne skal ind, og hvornår der skal foreligge endelige beslutninger (fx hvilket energisystem der skal anvendes, hvordan det skal integreres, osv.). Klarlæggelsen af disse points-of-no-return er afgørende for at undgå back-tracking eller symptombehandling, som ofte er ødelæggende for både bygningens performance og arkitektoniske sammenhæng. For et enkelt og bredt anvendeligt billede af en integreret designproces, arbejder vi med tre overordnede faser, se (fig. 5).

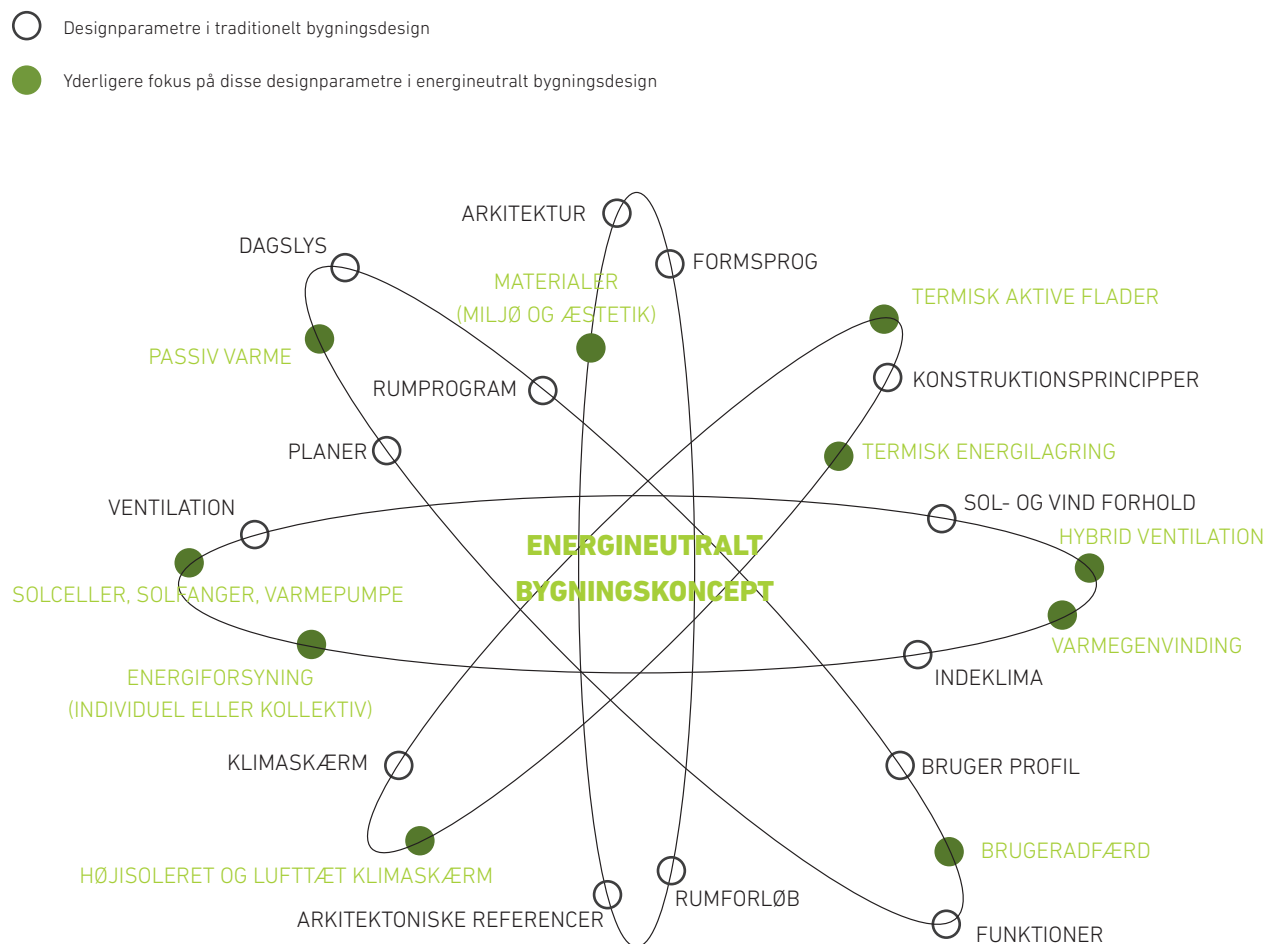


Fig. 4. Væsentlige designparametre i spil i en designproces. Diagram lavet med baggrund i (Knudstrup 2004).

Publikationen søger at tydeliggøre betydningen af, og ideelt set fremme, det tværfaglige samarbejde gennem en italesættelse af både arkitekt- og ingeniørfaglige aspekter samt en klarlægning af, hvornår viden omkring de forskellige fagområder bør inddrages i designprocessen.

Det tværfaglige samarbejde udføres imidlertid ofte af den traditionelle måde at arbejde på, at der ofte tales forskellige sprog samt kontraktforhold. (Knudstrup 2010, Petersen og Knudstrup 2013)

De tre faser svarer til de første faser af en traditionel designproces, til og med forprojektet, set i forhold til projektdetajleringsniveau, se (fig. 5).

Processen vil være et iterativt forløb, hvor viden opnået i projektets senere faser kan føre til, at man må tilbage og foretage justeringer i projektets tidligere faser. Faserne angiver altså ikke et tidsmæssigt lineært procesforløb, men forholder sig til forskellige stadier i udviklingen af designet.

Publikationen er opbygget omkring de forskellige designstrategier og teknologier og ikke omkring procesforløbet. Gennem publikationen optræder (fig. 6) som en illustration for, hvornår viden omkring de forskellige design strategier/teknologier inddrages i løbet af processen, med udgangspunkt i de tre faser. Eksempelvis kan der være viden omkring en specifik teknologi, som er væsentlig at få ind allerede når designkriterierne defineres, mens anden viden omkring teknologien først inddrages senere i forløbet.

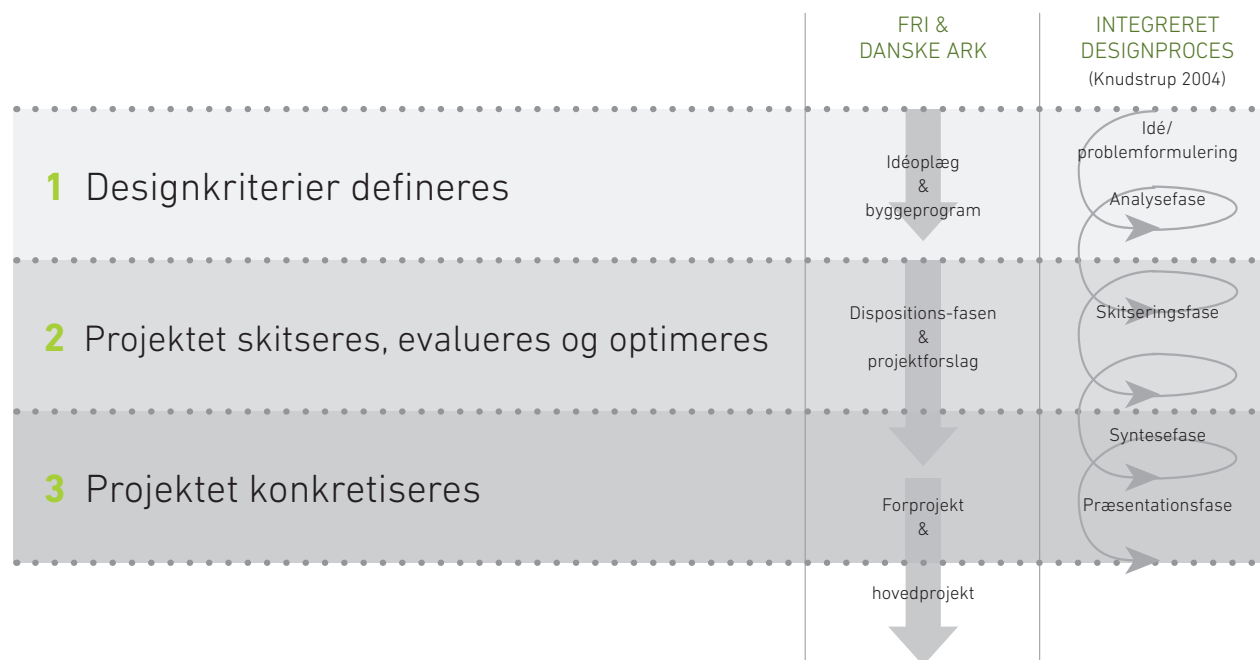


Fig. 5 Tre overordnede faser i en integreret design proces.



Fig. 6 Illustrerer det iterative procesforløb i en integreret designproces.



RAMMERNE

BYGNING & KONTEKST

EN VÆSENTLIG DESIGNSTRATEGI I UDVIKLINGEN AF DEN ENERGINEUTALE BOLIG ER, AT SKABE OVERBLIK OVER PROJEKTETS RAMMER I DE INDLEDENDE FASER. HER KLARLÆGGES BL.A. FORHOLD RELATERET TIL STEDET OG MIKROKLIMAET, TILGÆNGELIGE ENERGIKILDER, INTERESSENTERNES BEHOV SAMT KRAV TIL KOMFORT OG ENERGI.

OVERBLIK OVER RAMMERNE

14

Det er vigtigt for opnåelsen af en helhedsorienteret energineutral bolig, at designprocessen indledes med en klarlægning af projektets rammer.

Boligen er ikke en autonom størrelse, men en dynamisk daglig medspiller i beboernes fysiske og psykiske rammer. Den indgår i et samspil med omgivelsernes arkitektur, funktioner, beplantning, infrastrukturelle net og forsyningsnet og beboere og brugere i området. Gennem dens uderum, grundens sekundære bygninger og beplantning skabes en overgang mellem boligens privatsfære og det offentlige rum. Nabobygninger, beplantning og grundens topografi vil have betydning for arbejdet med dagslys og skygge, for mulighederne for læ osv. På samme vis indgår boligen i et samspil med dens brugere, husets beboere. Det er ikke nok, at boligen i sig selv er energieffektiv, den skal samtidig understøtte energibesparende praksisser, så den fungerer efter hensigten, også efter at brugeren er flyttet ind, og på en måde så brugeren trives. Det kræver, at man skaber overblik over brugerens behov, har øje for hvordan disse behov kan/vil udvikle sig over tid, samt udvikler en plan for, hvordan brugeren bedst muligt rustes til at leve i en energineutral bolig. Et overblik over rammerne er således en yderst vigtig strategi, når en energineutral bolig designes.

Eksempler på vigtige parametre, der bør afdækkes er:

- Projektets interesser, herunder bygherren og brugerens krav og ønsker
- Planer for området (kommune- og lokalplan med rammebestemmelser, m.fl.)
- Områdets karakter (bymæssig, landlig)
- Infrastruktur (trafik og energi)
- Arkitekturen og materialer i området
- Grundens adgangsforhold
- Vegetation
- Mulighed for udsigt (og risiko for indkig)

- Ønsker til arkitekturen (udtryk, funktioner, materialer, atmosfære, mm.)
- Krav til boligens energibehov
- Krav til boligens indeklima, herunder dagslysforhold
- Osv.

Klarlægningen af disse leder frem til en række konkrete designkriterier, der udgør projektets overordnede rammer.

Designkriterierne vil være af både kvalitativ og kvantitativ karakter, og det er vigtigt, at et tværfagligt designteam definerer disse i samarbejde. Synliggørelsen af designkriterierne giver en større gennemsigtighed mellem de overordnede betingelser, som de forskellige fagligheder arbejder indenfor – og herved en større indsigt i og forståelse for de udfordringer, der kendetegner den samlede designgruppes arbejdsproces.

Det er vigtigt, at de forskellige designforslag evalueres og optimeres løbende igennem designprocessen i forhold til de fastsatte designkriterier. Til tider vil man revurdere og evt. justere nogle af designkriterierne undervejs i processen. I så tilfælde er det vigtigt at ændringerne synliggøres for alle i designteamet, så det fælles mål fortsat fremstår tydeligt for alle. Overblikket over projektets rammer fra designprocessens start kan minimere risikoen for at "gå ad forkerte veje", og således hjælpe til en mere effektiv designproces.

Over de næste sider udfoldes nogle af de parametre, som har særlig stor betydning, når man designer en energineutral bolig.

TILGÆNGELIGE ENERGIKILDER

15

Når den energineutrale bolig designs, er der forskellige forhold, der gør sig gældende ift. mulighederne for energiforsyning alt efter grundens beliggenhed og bygherres intentioner.

Det kan være en fordel at skabe overblik over de forskellige muligheder for energiforsyning inden skitseringen af designforslag påbegyndes, da valget af energiforsyning kan have betydning for bygningsdesignet. Kollektiv energiforsyning vil typisk ikke have den store indvirkning på bygningsdesignet, mens udnyttelse af fx solenergi vil stille krav til bygningens overordnede geometri (fx tagflader eller facadens hældning, orientering og areal) samt krav til bygningens placering på grunden ift. skyggende bygninger og vegetation mm. (se afsnittene Solfanger og Solceller).

Valget af energiforsyning afhænger af flere forhold (et udvalg er vist i fig. 8), og skal derfor afklares gennem en dialog med bygherre. Dertil kommer, at der kan være tilslutningspligt til den kollektive varmeforsyning, og der kan foreligge specifikke rammebestemmelser for anvendelse af/forbud imod fx solceller og solfanger.

Den største prissikkerhed ligger i at nedbringe bygningens energibehov gennem designet, da tilskudordninger er politisk bestemte og den kollektive energiforsyning vil være præget af svingende energipriser. Produktion af energi på bygningen til eget forbrug er forbundet med større prissikkerhed, men er samtidig forbundet med anlægsomkostninger. Desuden har det stor indflydelse på bygningsdesignet og kræver vedligehold.

KOLLEKTIV FORSYNING

Ud fra en samfundsøkonomisk systembetragtning af hvad der passer bedst ind i et fremtidigt fossilfrit Danmark, bør den energineutrale bolig kobles på den kollektive varmeforsyning, hvor det er muligt, og ellers anvende en individuel varmepumpe (Lund 2010) (fig. 7). Se mere om fjernvarme og energineutralt

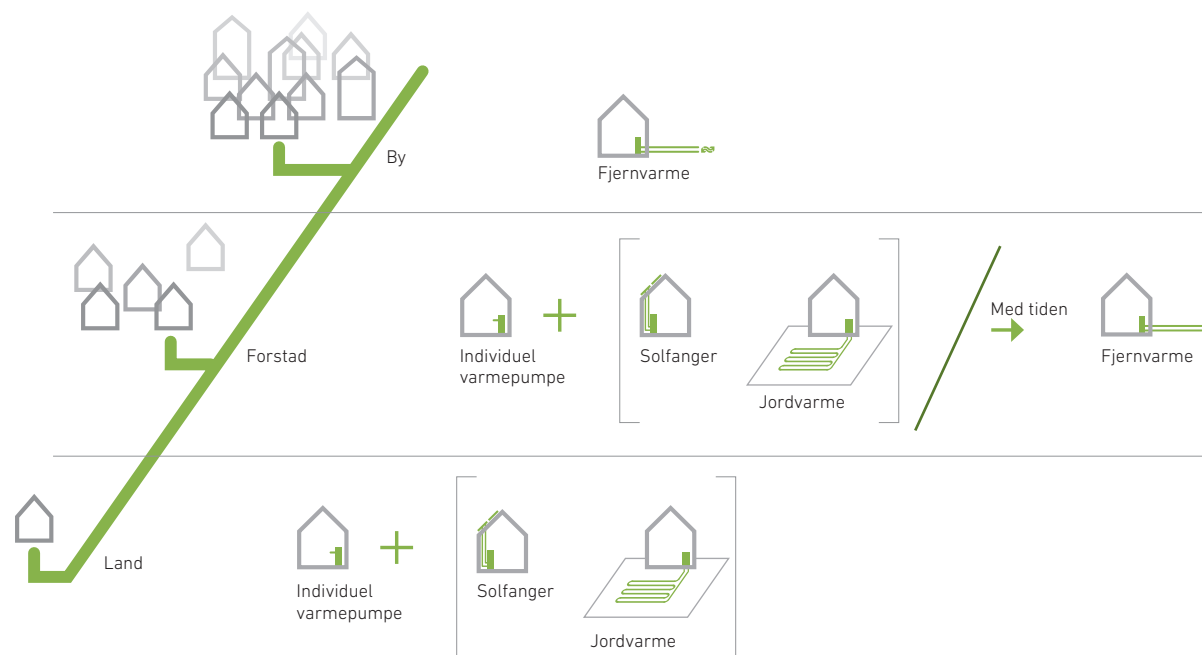


Fig. 7. Nye energineutrale bygninger indenfor fjernvarmeområder bør tilkobles den kollektive forsyning, hvis det er muligt. I områder uden fjernvarme anbefales individuel varmepumpe som varmeforsyning. Hvis der i området er planer om tilkobling til fjernvarme i fremtiden, bør det interne varmesystem i bygningen være foreneligt med fjernvarmeforsyningen.

byggeri i (Nielsen 2014). Den energineutrale bolig er altid tilkoblet den kollektive elforsyning for at undgå lokal ellagring og for at opnå forsyningsikkerhed.

EGENPRODUKTION

For den energineutrale bolig er det desuden nødvendigt med en energiproduktion, der kan modsvare forbruget. Hvor energien produceres afhænger af flere forhold (se bl.a. fig. 8), og salg til nettet er politisk bestemt (tjek gældende regler).

	Pris-sikkerhed	Indflydelse bygnings-design	Vedligehold	"Ejerskab"
På bygningen	Stor/lille*	Stor	Ejers ansvar	Stor
Ejerlav el. lign	Stor/lille*	Ingen	Ejerlavs ansvar	Stor
Kollektiv forsyning	Relativt stabilt stigende priser	Ingen	Ingen	Lille

Fig. 8. * Stor prissikkerhed ved små anlæg med ringe eller ingen eksport. Lille prissikkerhed ved store anlæg med stor eksport til nettet.

Boligens brugersammensætning er afgørende for både boligens program og rumlige organisering samt for design og dimensionering af bygningens tekniske systemer. Samtidig vil brugernes adfærd have betydning for, om forventningerne til energiforbrug, indeklima og komfort vil kunne indfries efter ibrugtagelse af boligen.

BRUGERSAMMENSÆTNINGENS BETYDNING

Husstandssammensætningen vil have betydning for, hvordan boligen bruges og dermed dens funktionalitet. Hvilke rum har husstanden behov for? Hvad er behovet til relationen mellem rummene, og hvad er behovet for dagslys (mængde og kvalitet) i de enkelte rum? Gode dagslysforhold i alle rum og rumligheder, der kan huse forskellige funktioner kan være med til at sikre boligens funktionalitet over tid.

Antallet af personer i husstanden har relativt større betydning for opvarmningsbehovet i takt med at standarden for

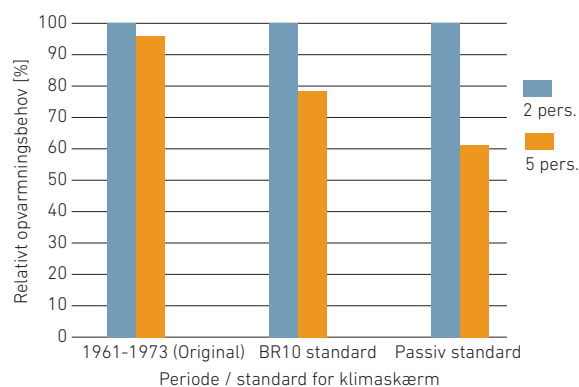


Fig. 9: Relativt opvarmningsbehov ved forskellige typiske klimaskærmsniveauer for boliger med 2 og 5 personer og konstant elforbrug (Jensen et al. 2011).

klimaskærmen er blevet forbedret. Det skyldes at varmebehovet er reduceret så meget, at den varme (energi) personerne tilfører rummet får større betydning for den samlede energibalance (fig. 9). I 2010 udgør energiforbruget til el en væsentligt større del af det samlede energiforbrug end energiforbruget til varmt vand. Med visionen om en reduktion af elforbruget i husholdninger på 50% i 2050 set i forhold til 2008-niveau (Mathiesen et al. 2009), vil denne balance udjævnes meget og varmetilskuddet fra apparater vil falde (fig. 10).

I langt de fleste tilfælde vil boligens brugersammensætning ændre sig over tid. For eksempel bor flere parcelhusejere i deres bolig over et livsforløb. Det er derfor vigtigt, at designe boligen robust og fleksibel, så bygningen, både funktionelt og teknologisk, kan imødekomme ændringer i husstandssammensætningens behov samt med øje for variationer i belastningerne.

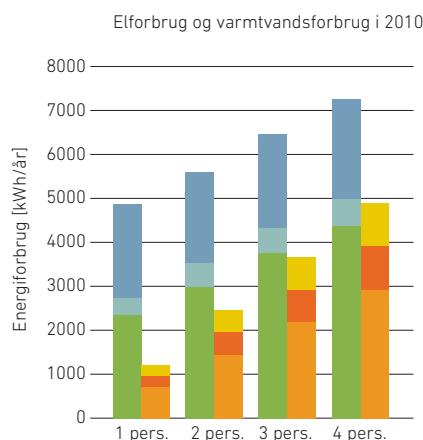


Fig. 10: Eksempler på sammenhængen mellem husstandssammensætninger og det affødte varierende behov som bygningens robusthed skal kunne klare.

De tre mest forekommende husstandssammensætninger i parcel- og stuehuse i Danmark er par uden børn, par med 1-2 børn og enlige uden børn (fig. 11)

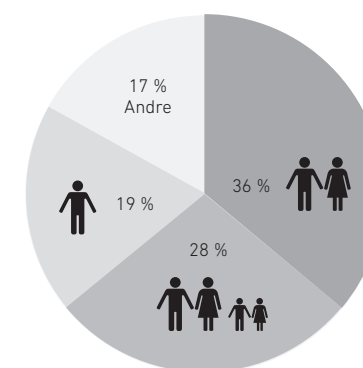
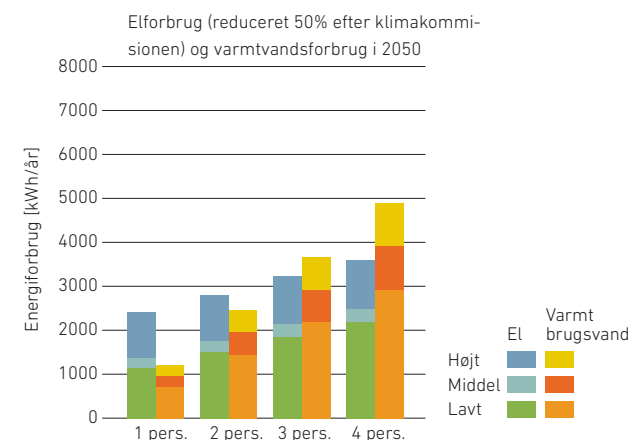


Fig. 11: Typisk forekommende husstandssammensætninger i parcel- og stuehuse i Danmark (data fra: Agerskov og Bisgaard 2012)



VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Om boligen kan imødekomme behov, der ligger udenfor standarden (andre temperaturer eller ekstra udluftning)
- Mulighed for overstyring af automatiske systemer
- Mulighed for individuel regulering af temperatur og luft i de enkelte rum. Nogle brugere foretrækker 22 °C i stuen og 18 °C i soveværelset
- Sikring af at systemerne spiller sammen
- Evt. plan for hvordan systemerne skal serviceres, så systemerne fortsat fungerer efter hensigten
- Let forståelig feedback til brugeren.

BRUGERADFÆRD

En ting er at designe boligen så den – i teorien – fungerer optimalt. Noget andet er, når brugeren flytter ind og denne begynder at interagere med boligen og dens systemer. Risikoen er en utilfreds bruger – enten fordi boligen ikke imødekommer dennes krav til komfort, eller fordi energibehovet bliver større end forventet, hvis kravene til komfort skal kunne indfries. Det er derfor vigtigt at gøre bygherre/bruger opmærksom på sammenhængen mellem brugen af boligen og bygningens tekniske performance. Fx forudsætter det beregnede energiforbrug/indeklima ofte en automatisk styring af ventilation og solafskærmning. Det er vigtigt at brugeren har forståelse for systemet, hvis den automatiske styring overrules. Ellers kan det have konsekvenser i form af øget energiforbrug, ringe luftkvalitet eller overtemperaturer.

BRUGEREN OG DEN INTELLIGENTE BOLIG

Der er en tendens til, at der kommer mere og mere teknologi ind i vores boliger. Det er derfor vigtigt, at bygningen og dens teknologier designes så brugerne kan anvende dem, så byg-

ningen og dens systemer fungerer optimalt med brugeren, og brugeren ikke oplever følelsen af mistet kontrol. En mulig løsning til synliggørelse af forbrug og styring af indeklimaet er brugervenlige displays, placeret let tilgængeligt i boligen, eller app's til mobile enheder.

I projektet "Intelligente energiydelser i lavenergiboliger baseret på brugerdreven innovation" (Jørgensen et al. 2012), gennemført under ledelse af Teknologisk Institut, er udviklet en energioptimeret styring af indeklima og energi (varme, ventilation, vinduesåbninger og solafskærmning) til beboerne i demonstrationsprojektet EnergyFlexHouse. Desuden er der udviklet en tablet-app, som giver beboerne mulighed for at overstyre den automatiske styring. Projektet konkluderer, at den automatiske styring i en given vinterperiode ville give et 30 % lavere rumvarmeforbrug, end hvis forsøgsfamilien selv styrede varmeforhold og indeklima på tablet'en. Familien mente, at den udviklede automatiske styring var absolut acceptabel indeklimamæssigt, særligt når konsekvensen blev synliggjort. (Jørgensen et al. 2012)

Ved design af styrings- og visualiseringsværktøj bør man være opmærksom på:

- Styrings- og visualiseringspaneler skal være brugervenlige. Det skal være nemt at skifte indstillinger, men også nemt at skifte tilbage til den mest energieffektive styring. (Hauge 2011, Entwistle 2011)
- Konsekvenser af brugerændringer i forhold til energiforbrug bør illustreres. (Jørgensen et al. 2012) Fx ved tabeller der viser energiforbrug samt evt. prisen for at skrue 1-2 grader mere op for varmen
- Indeklima og komfortparametre skal illustreres simpelt, så brugeren ikke forvirres. Fx ved en glad/sur smiley, som gjort af Frederikshavn boligforening (Madsen 2013)
- For at opnå et reduceret energiforbrug og samtidig sikre et tilfredsstillende indeklima er det vigtigt, at styringsparametre-

ne (fx solafskærmning, varme, mekanisk- og naturlig ventilation) indkobles i den rigtige rækkefølge i styringsalgoritmen i forhold til vejrforhold. (Jørgensen et al. 2012)

Et andet forskningsprojekt, der omhandler brugeroplevelse af 3 VELUX Model Home 2020 demonstrationsprojekter, konkluderer bl.a. at brugerne hurtigt lærer at anvende styringspanelerne og generelt accepterer den automatiske styring. Visualiseringspanelerne kan desuden virke motiverende, da de synliggør sammenhænge mellem energi, indeklima og brugeradfærd. (Olesen, GGH 2014)

RENOVERING

Ved energirenovierung af boliger er det ligeledes vigtigt at inddrage brugerne. En undersøgelse baseret på kvalitative interviews med boligejere og andre aktører omkring energirenovierungsprojekter (Vlasova and Gram-Hanssen 2014) samt undersøgelser baseret på mere kvantitative data (Gram-Hanssen 2014) viser, at det ikke kun er et spørgsmål om, hvor energieffektiv boligen er, men også at boligen bagefter understøtter energibesparende praksisser. Disse undersøgelser peger på, at man ved renovering med fordel kan overveje at:

- Brugeren er med til at tage beslutninger og vælge de teknologiske løsninger, da der herved er en større chance for at de valgte bygningsteknologier vil blive forstået og brugt på en måde, der medfører et mindre forbrug
- Et mindre forbrug kan opnås ved at installere effektive teknologier, men også ved at gøre det nemt og attraktivt for brugerne at bruge mindre, som fx at etablere et velegnet tøj-tøringssted, vælge apparater som det er nemt at styre effektivt og at slukke for standby
- Brugerne vægter ofte større boliger og fx flere badeværelser, hvilket vil føre til større forbrug uagtet de energieffektive løsninger. Det er derfor vigtigt at synliggøre konsekvenserne af de forskellige valg for brugerne.

MIKROKLIMAET

18

I de indledende faser afdækkes stedets kvaliteter og udfordringer i relation til bygningens mikroklima. Dette er afgørende for designet af den energineutrale bolig både med henblik på at sikre, at bygningen bliver velintegreret i den kontekst den indgår i, og for at kunne udnytte passive virkemidler som sol og vind optimalt.

På grund af den energineutrale boligs højisolerede klimaskærm og lave opvarmningsbehov er der ikke længere samme behov for passiv solvarme (fig. 17) (Jensen & Petersen 2013). Et væsentligt aspekt i udviklingen af den energineutrale bolig er

derfor at opnå en balance, som sikrer de bedst mulige dagslysf forhold i boligen (mængde og kvalitet) og samtidig minimerer risikoen for overophedning forårsaget af passiv solvarme.

Arbejdet med dagslyset og passiv solvarme forudsætter at man er opmærksom på solens placering på himlen over dagen og i de forskellige årstider (fig. 12-14) og eventuelle skyggef forhold på grunden (fig. 15). Denne viden anvendes i forhold til bygningens placering på grunden og i designet af bygningen i forhold til placering af funktioner, dagslys i boligen samt udnyttelse/begrænsning af passiv solvarme efter behov.

Det er desuden vigtigt at kende de lokale vindforhold omkring bygningen, så man kan designe med tanke for læforhold samt naturlig ventilation. Der kan være stor forskel på, om boligen opføres i et veletableret boligområde eller i et nyudstykket åbent område, hvor det kan tage år før beplantningen er etableret. Dette kan have betydning for vindforholdene omkring huset, og der kan være risiko for, at brugeren føler sig generet af indkig fra naboer m.fl. (Brunsgaard et. al 2012). Det kan derfor være en fordel at være opmærksom på (forventede) ændringer i mikroklimaet på grunden og tage højde for dette i designet, evt. i form af sol- og vindafskærmning.

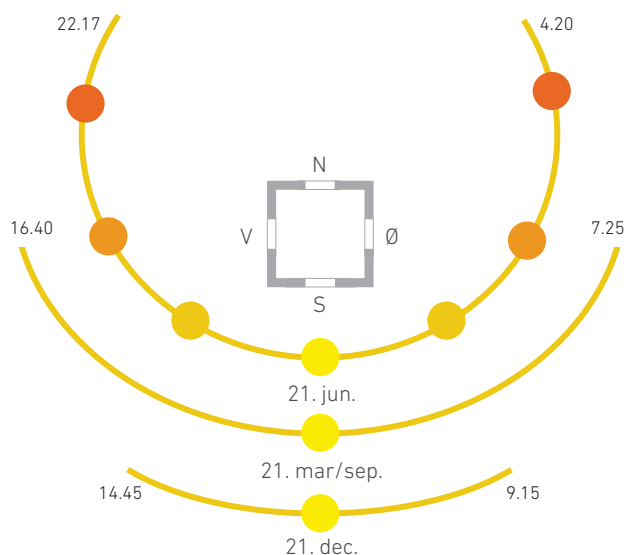


Fig. 12. Solens bevægelse i horisontalt plan ved henholdsvis sommersonhverv, jævndøgn og vintersolhverv.

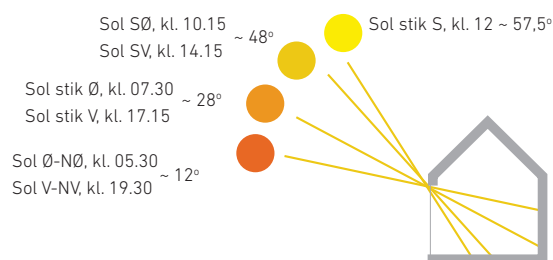


Fig. 13. Solens bevægelse i vertikalt plan over dagen ved sommersonhverv d. 21. juni.

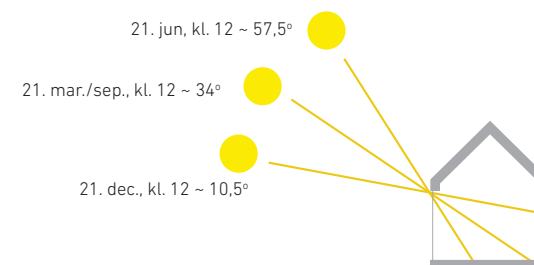


Fig. 14. Solens vinkel kl. 12 ved henholdsvis sommersonhverv, jævndøgn og vintersolhverv.

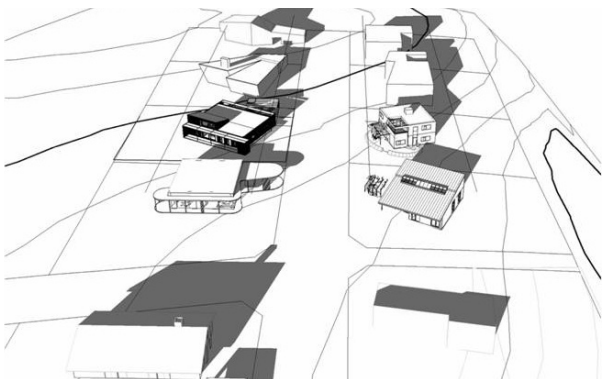


Fig. 15. Illustrationen fra Komforthusene i Vejle viser at det er vigtigt at forholde sig til skyggeforholdene fra nabogrundene. En problematik der er særlig udtalt ved vintersolhverv. Illustration af Bjerg Arkitektur A/S.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Solforhold på grunden
- Skygge fra omkringliggende bygninger og vegetation (fig. 16)
- Vindforhold på grunden
- Topografi
- Lokalplaner der angiver byggefeltet kan give problemer med udnyttelse af passiv solvarme, dagslys og udsigt pga. nabobebyggelser.

Herigennem klarlægges mulighederne for:

- Orientering af bygningen
- Dagslys (solens gang over dagen/året)
- Behov for solafskærmning
- Naturlig ventilation
- Uderum med sol og læ
- Evt. udnyttelse af solenergi (solceller og solfanger).



Fig. 16. Nabobygninger og beplantning kan have stor betydning for dagslyset i boligen, samt for udnyttelse og/eller begrænsning af passiv solvarme.

BEHOVET FOR PASSIV SOLVARME

Udnyttelse af passiv solvarme til opvarmning af boligen har typisk været et væsentligt element i design af lavenergibyggeri. Passiv solvarme er stadig en vigtig strategi, når den energineutrale bolig designes, men grundet den højisolerede og lufttætte klimaskærm, og deraf følgende lave energibehov, er behovet for passiv solvarme ikke længere så stort. Et forsimpelt regnestykke giver en idé om behovet for passiv solvarme (fig. 17).

En kold vinterdag, solen skinner og 2 personer er hjemme i et enfamiliehus på 150 m² opført svarende til bygningsklasse 2020 (BK2020).

Varmetab (15 W/m ² x 150 m ²)	2250 W
Tilskud 2 personer af 100 W (~89 % af Be10 værdi)	200 W
Tilskud apparater (~76 % af Be10 værdi)	400 W

Varmebehov der skal dækkes (150 m ² x 15 W/m ² - 600 W)	1650 W
--	--------

Solvarmetilskud (mod syd) g-værdi (3 lagsrude) 0,55, rudeandel af vindue 0,75, ingen skyggevirkning	~700 W/m ²
--	-----------------------

Nødvendigt vinduesareal (1650 W / (700 W/m ² x 0,55 x 0,75))	= 5,7 m ²
--	----------------------

Vinduesarealet bør altså designes ud fra:

- dagslys (mængde og kvalitet)
- evt. øget areal ift. fx udsigt eller kontakt til uderum
- undersøgelse af behov for solafskærmning

Fig. 17. Et forsimpelt regnestykke giver en idé om behovet for passiv solvarme.

KOMFORT OG INDEKLIMA

20

Komfort i den energineutrale bolig omhandler brugerens fysiske og psykiske velbefindende. Komfort i boligen spænder således bredt fra den sanselige oplevelse af rum, materialer, relationen til omgivelserne osv., til det målbare indeklima som temperatur, luftkvalitet, akustik og lys. En undersøgelse viser, at forbedringer af boligens komfort, funktionalitet og indeklima kan motivere ejere af enfamiliehuse til at foretage energirenoveringer. (Mortensen et al. 2014) At sikre komfort og et godt indeklima er derfor afgørende i designet af nye energineutrale boliger.

Boligen skal, som minimum, opfylde bygningsreglementets krav. Den energineutrale bolig er dog netop kendetegnet ved at have et godt indeklima, og anbefalingen er derfor, som udgangspunkt, at gå efter bedst mulige indeklima til lavest mulige energiforbrug - man kan sagtens forbedre indeklimaet uden at det koster ekstra energi. Fx kan luftskiftet øges uden ekstra energiforbrug om sommeren ved brug af naturlig ventilation. Der er ganske få specifikke krav til indeklimaet i enfamiliehuse i Bygningsreglementet. Et udgangspunkt for nogle krav til boligens indeklima fremgår af (fig. 18). Det er derfor vigtigt, i de indledende faser, at det tværfaglige designteam i samråd med bruger/bygherre klarlægger ønsker og krav til boligens komfort og indeklima. Det gælder dels specifikke krav til boligens indeklima, men også kvalitative aspekter kan med fordel formuleres.

Termisk:	20-26°C, med mulighed for køligt soveværelse
Atmosfærisk:	CO ₂ : 800 ppm over udekonzentration RF 25-60 %
Visuelt:	Dagslysfaktor minimum 3 % Andel af dagslystimerne med direkte solstråling > 7,5 %
Akustik:	Efterklangstid 0,5 Støj fra installationer $L_{Aeq,T}$: • Opholdsrum <32 dB(A), • Soveværelse <26 dB(A).

Fig. 18. Eks. på krav til boligens indeklima (Olesen, B. et al. 2013, DS/EN15251)

KVALITATIVE DESIGNKRITERIER

Et forskningsprojekt, der omhandler brugeroplevelse af 3 VELUX Model Home 2020 demonstrationsprojekter, viser at brugerne oplever en positiv sammenhæng mellem dagslys, luftkvalitet, og naturlig ventilation og konstaterer en trivselsmæssig forbedring herved. (Olesen, G. 2014)

Designkriterierne kan omhandle:

- Brugerens medbestemmelse i forhold til styring/kontrol af boligens systemer (temperaturer, luftkvalitet og dagslys)
- Ønsker om at kunne regulere forskellige zoner/funktioner uafhængigt af hinanden (fx ønske om lavere temperatur i soveværelse eller mulighed for at sove med åbent vindue)
- Materialers visuelle karakter og stoflighed
- Behovet for dagslys i forhold til brug af boligen over døgnet.
- Behov til den kunstige belysning ift. funktion, mængde, kvalitet, atmosfære mm.
- Behov relateret til boligens funktionalitet (funktioner, relationer mellem rum, relation til uderum osv.) (fig. 19)
- Specifikke ønsker til udsigt
- Vinduets funktion ift. at sikre udsyn og kontakt til omgivelserne uden at beboerne føler gener fra indkig.



Fig 19. Med den højisolerede og lufttætte klimaskærm minimeres kuldenedfald og træk, og man kan opnå komfort selv op ad store vinduesarealer.

KVANTITATIVE DESIGNKRITERIER

TERMISK INDEKLIMA

For den energineutrale bolig bør der ikke være problemer med kuldenedfald og kolde overflader. På grund af det meget lille varmebehov vil temperaturen hurtigt stige ved direkte sol på vinduerne og det bør verificeres at kravene til overtemperaturer er overholdt. Designkriterierne kan omhandle:

- Sikring mod overtemperaturer og meget varierende temperaturer i løbet af et døgn
- Max overtemperaturer: > 26°C max 100 timer pr. år, > 27 °C max 25 timer pr. år, jf. BK2020
- Evt. overveje om der i boliger er behov for at skelne kraftigt mellem vinter- og sommerbeklædning, som ved kontorbyggeri, da man ved et mere tilpasset valg af beklædning kan opnå termisk komfort indenfor et større temperaturinterval.

ATMOSFÆRISK INDEKLIMA

For den energineutrale bolig er valget af ventilationsmængde og styringsstrategi afgørende, da en stor del af boligens energibehov relaterer sig til ventilationen. Designkriterierne kan omhandle:

- Minimumskrav til ventilationsmængden fremgår af Bygningsreglementet
- Luftkvaliteten i de enkelte rum. Ofte sikres blot den gennemsnitlige luftkvalitet, hvilket kan medføre at luftkvaliteten er god i nogle rum men ikke i andre. Luftkvaliteten i et værelse vil fx afhænge af om det bliver brugt til børneværelse (1 barn) eller soveværelse (2 voksne)
- Overvej evt. behovstyret ventilation for at få den bedste luftkvalitet ift. energiforbruget
- Relativ luftfugtighed i boligen. I Danmark har fokus i mange år været på at minimere den relative fugtighed i boligerne, bl.a. for at undgå skimmelsvamp. En undersøgelse viser dog, at der i boliger med et højt luftskifte kan blive for tørt i vinterperioden (Larsen et al. 2012). Fugtforholdene bør derfor undersøges.

VISUELT INDEKLIMA

Det visuelle indeklima handler om både dagslys og kunstlys. Designkriterierne kan omhandle:

- Tilstrækkeligt stort glasareal, rigtigt placeret ift. orientering og højde til at sikre gode dagslysforhold (se DF i fig. 18).
- Mulighed for direkte sollys i vinterperioden for at modvirke vinterdepression (se fig. 18)
- Dagslys handler både om mængde og kvalitet, fx kvaliteten af lyset ift. naturlig gengivelse af farver og tekstur efter det har passeret ruden og muligheden for at undgå blænding, store kontraster og refleksioner
- Kunstig belysning bør sikre gode lysforhold til de forskellige funktioner, der er i boligen
- Krav til energieffektiv kunstig belysning
- Samspillet mellem dagslyset og kunstig belysning.

AKUSTISK INDEKLIMA

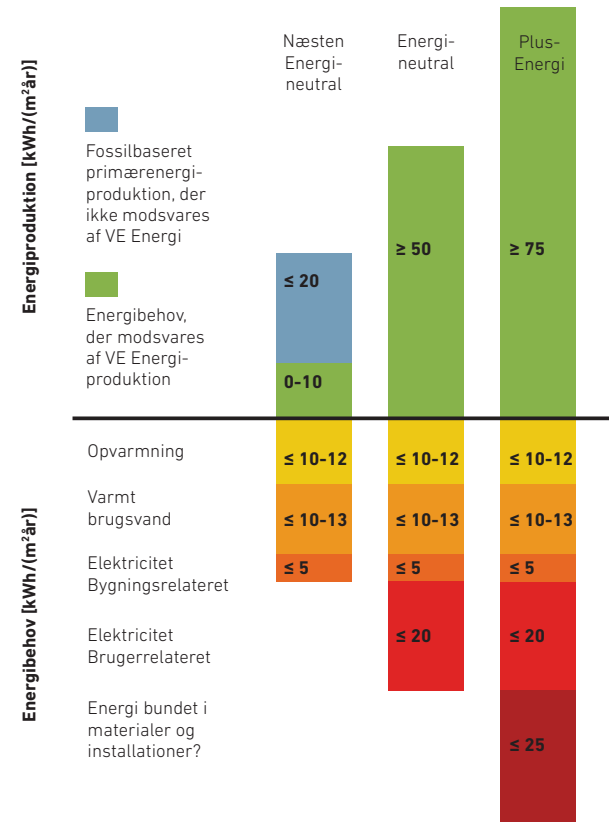
Det akustiske indeklima dækker både over rumakustik og bygningsakustik. Designkriterierne kan omhandle:

- Rumakustik: Krav til efterklangstid, fx ved at sikre tilstrækkelig lydabsorption. I mange moderne boliger består overfladerne primært af glas og hårde flader som gipsvægge og -lofter. Sådanne rum kan have en lang efterklangstid og dermed en dårlig rumakustik.
- Bygningsakustikken: Krav om tilstrækkelig dæmpning af lyd, der opfattes som støj, så den ikke er generende. Det gælder både støj udefra, støj mellem rum og støj fra installationer.
- For fritliggende boliger vil fokus primært være på støj fra installationer (fx ventilation) samt støj mellem rum.

Fig. 20 (til højre). Energibalanc for Næsten Energieutralt, Energieutralt og PlusEnergi byggeri. Til udregning af energibalancen for Næsten Energieutralt anvendes forskellige primærenergifaktorer, som afhænger af energikilden. Disse faktorer kan variere over tid, og gældende regler bør tjekkes.

ENERGI

Ligeledes fastlægges målet for den energieutrale boligs energipreformance i samråd mellem rådgivere og bygherre. På baggrund af erfaringer fra nyere forskningsaktiviteter i Danmark og på internationalt niveau har forskningscenteret opstillet følgende mål for energibehovet i henholdsvis Næsten energieutralt, Energieutralt og PlusEnergi byggeri (fig. 20).



MILJØPROFIL

Interessen for miljøcertificeringer af bygninger er steget betragteligt, og i stadig stigende grad er muligheden for at få en bygning certificeret et konkret krav i konkurrenceoplæg. Branchen har valgt DGNB som den bæredygtigheds-certificering, man vil benytte i Danmark, tilpasset danske forhold af Green Building Council Denmark. På nuværende tidspunkt findes en certificering for nye kontor- og erhvervsbyggerier, og der udvikles løbende for andre bygningstyper. I den nuværende certificering vægtes projektets bæredygtighed ud fra de overordnede begreber: Miljø, økonomi, social og teknik, som vægtes ligeligt med hver 22,5 % og proces som vægter 10 % i den samlede vurdering. Desuden fremhæves området som et betydeligt aspekt, men beregnes særskilt. Indenfor de seksoverordnede begreber indgår i alt 48 vurderingskriterier. (Larsen 2013) Eksempler på disse fremgår af fig. 21.

- MILJØ: Bæredygtig ressourceanvendelse, primærenergibehov og andel af vedvarende energi
- ØKONOMI: Levetidsomkostninger, fleksibilitet for anden anvendelse
- SOCIAL: Indeklima (lys, luft, temperatur, akustik), tilgængelighed, design og bygningsintegreret kunst
- TEKNIK: Klimaskærmens kvalitet, renhold og vedligehold, brand-sikkerhed, demonterbarhed og genanvendelse
- PROCES: Kvalitet i projektforberedelse, integreret designproces, strategi for planlægning
- OMRÅDE: Miljøvenlig transport, serviceudbud, forsyningsgrid

Fig. 21. Eks. på vurderingskriterier i DGNB-DK, baseret på (Larsen 2013)

ENERGIEFFEKTIVE REFERENCER

22

Det kan være en fordel at inddrage arkitektoniske og tekniske referencer i designteamets indledende møder for at opnå en fælles referenceramme.

De energieffektive referencer kan være alt fra hele projekter, kompositioner, udtryk, materialevalg og detaljebearbejdning til velintegrerede tekniske løsninger, systemer osv. (fig. 22-26)

Et bredt udvalg af projekter kan findes i bogen Net Zero Energy Buildings - International projects of carbon neutrality in Buildings (Voss & Musall 2011) samt på hjemmesiden www.enob.info/en/net-zero-energy-buildings/map/.



Fig. 22. I demonstrationsprojektet EnergyFlexHouse ved Teknologisk Institut i Taastrup visualiseres indeklimaparametre og energiforbrug for brugeren. Brugerstyring af systemerne foregår via app's.



Fig. 23. EnergyFlexHouse ved Teknologisk Institut i Taastrup er opført som en engineutral bolig. Solceller og solvarmeanlæg integreret i taget producerer den energi, der er nødvendig for at dække energibehovet forbundet med indeklima, varmt vand, kunstig belysning, husholdning, underholdning samt transport i el-bil. (Ravn & Grimmig 2011) Eksempler på andre energieffektive virkemidler er åbne og gennemlyste rum, delvist åbent til kip med oplukkelige ovenlysvinduer, der kan øge den naturlige ventilation på varme dage.



Fig. 24. Energieffektive boliger kan have meget forskellige udtryk, som illustreret ved mangfoldigheden i Komforthusene ved Vejle. Her er det fra oven Stenagervænget 43 (ART A/S og Rambøll A/S), Stenagervænget 28 (Jordan+Steenberg og Cenergia A/S), Stenagervænget 39 (Bjerg Arkitekter A/S og Erasmus & Partnere A/S).

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING RAMMERNE FOR BYGGERIET

- Stedets arkitektur, materialer, planrammer, mm.?
- Sol- og vindforhold på grunden?
- Kollektiv eller individuel energiforsyning – og vil dette få indflydelse på bygningsdesignet?
- Brugerens behov ift. funktionalitet, rumsammenhænge, materialer, atmosfære, udsigt, indkig mm.?
- Designets robusthed/fleksibilitet ift. ændringer i brugersammensætning og brugerbehov?
- Hvilke krav til energi skal bygningsdesignet opfylde?
- Hvilke krav til indeklima (dagslys, temperaturer, luftkvalitet, akustik) skal bygningsdesignet opfylde?
- Hvilke hensyn skal der tages til brugeradfærd, fx ift. styring af bygningens systemer?
- Brug af displays eller app's?

PROCES



Projektets rammer defineres i designprocessens første fase. Italesættelse og definition af projektets designkriterier angiver det tværfaglige designteams fælles mål.

Hvis boligen skal DGNB certificeres skal dette inddrages fra starten, da visse parametre er i særlig fokus.



Nogle designkriterier ligger helt fast mens andre justeres undervejs i designprocessen. Det er meget vigtigt, at eventuelle justeringer synliggøres for alle i designteamet, så det fælles mål hele tiden fremgår klart for alle.



Fig. 25. Solafskærmning er et vigtigt element i energineutralt byggeri. I rækkehusene Lærkehaven I i Lystrup (2008, Arkitekt Herzog+partner) anvendes manuelle skoddesystemer på syd, øst og vestfacader. Skodderne muliggør en afbalanceret udnyttelse af passiv solvarme. Af andre virkemidler i projektet kan nævnes højisoleret og lufttæt klimaskærm, varmeakkumulerende loftpanaler med phase change materials, brug af LED lys, samt anvendelse af FSC certificeret træ. (Boligforeningen Ringården 2014)



Fig. 26. Komforthuset Stenagervænget 45, Vejle (Hundsbaek & Henriksen A/S og Ravn Arkitektur), der er opført som passivhus, er designet med et glasoverdækket atrium som omdrejningspunkt. Atriet er kilde til dagslys og ved hjælp af højt placerede vinduer i atriet og forskudte planer kan den naturlige ventilation øges på varme dage. Gennemlyste rum, lyddæk med akustikregulerende overflader og brug af lavenergiapparater er eksempler på andre energibesparende virkemidler.



BYGNING

DESIGNPRINCIPPER

BYGNINGSFORM, FUNKTION, ORIENTERING, DAGSLYS, MATERIALER OG VENTILATION ER CENTRALE ASPEKTER I UDVIKLINGEN AF HELHEDSORIENTEREDE ENERGINEUTRALE BYGNINGSKONCEPTER. DER ER STORE ENERGIBESPARELSER AT HENTE, HVIS DISSE DESIGNPARAMETRE BEHANDLES STRATEGISK OG INDDRAGES TIDLIGT I DESIGNPROCESSEN.

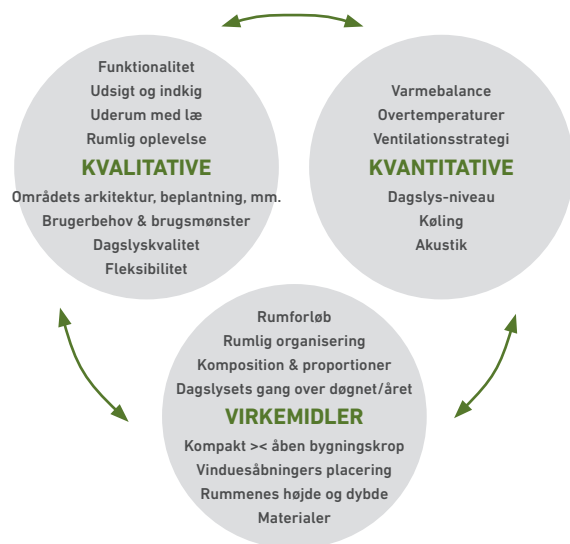
RUM OG FUNKTION

26

Det overordnede bygningsdesign er på mange måder afgørende i udviklingen af den energineutrale bolig. Boligen skal danne ramme om et godt liv med beboernes fysiske og psykiske velbefindende i centrum, og samtidig skal bygningsdesignet kunne imødekomme kravet om at være energineutralt.

Det er igennem bygningsformen, den funktionelle disponering og proportionering af rum, orientering, udnyttelse af dagslyset og materialevalg, at bygningen kommunikerer med sine brugere og omgivelser. Samtidig er det overordnede bygningsdesign helt afgørende for bygningens tekniske performance; hvor meget energi der skal til for at varme bygningen op, behovet for kunstig belysning samt mulighederne for (og effekten af) naturlig ventilation osv. Det er derfor afgørende, at der løbende igennem designprocessen foretages beregninger af bygningens performance, som kan informere designet af bygningen.

ASPEKTER I SPIL



Den højsolerede og lufttætte klimaskærm i lavenergibyggeri betyder, at kompaktheden ikke længere har samme store betydning (fig. 27). Opvarmningsbehovet er ikke længere så stort og behovet for passiv solvarme er derfor tilsvarende lavere. Et forekommende problem indenfor nogle lavenergibyggerier er knyttet til diskomfort forårsaget af overophedning – ofte et resultat af store glaspartier mod syd uden effektiv solafskærmning og udluftningsmuligheder. En undersøgelse viser, at størrelsen på energieffektive vinduer ikke har så stor betydning for varmebehovet om vinteren, på grund af rudernes isoleringsevne, til gengæld har størrelsen stor betydning for kølebehovet om sommeren (når der ikke anvendes solafskærmning). Man kan derfor, med fordel, orientere vinduesarealet mere jævnt (Persson et al. 2006).

Dette åbner op for, at fremtidens energineutrale bolig designes med udgangspunkt i en helhedsorienteret dagslysstrategi tilpasset brugerens behov og rummenes funktion, samt at bygningens geometri og orientering på grunden ikke alene bestemmes ud fra kompakthed og verdenshjørner, men under hensyn til udsigt, indkig, rumlig oplevelse, uderum med læ mm.

	Vinkelhus, 1 plan, h = 3,5 m. Overfladeareal = 498 m ² Transmissionstab ~1626 W
	Længehus; 1 plan, h = 3,5 m. Overfladeareal = 482 m ² Transmissionstab ~1586 W
	Kompakt, 2 plan, h = 6,3 m. Overfladeareal = 368 m ² Transmissionstab ~1430 W

Fig. 27. Transmissionstab for bygningstypologier. Areal 150 m², glasareal 30%. Gns. U-værdi klimaskærm ex. vinduer = 0,11 W/m²K, U-værdi vinduer = 0,8 W/m²K. Regner for en opvarmningssæson nov.-marts med gns. udetemp. 1,2°C og indetemperatur på 22°C.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Rummenes behov for dagslys, temperaturer, udsigt, adgang til uderum m.m.
- Rummenes orientering ift. solens gang over døgnet
- Rumforløb, rumlig variation og relation mellem rummene
- Bygningskroppens udtryk
- Solafskærmning og udluftning
- Layout af installationer
- Kanaler og rør skal integreres i forhold til konstruktioner og funktioner (fx i forhold til valg af varmesystem (se afsnittet Opvarmning) og mekanisk ventilation (se afsnittet Ventilation)).

Det er desuden vigtigt at indtænke en vis grad af fleksibilitet i boligens design, når man tager i betragtning boligens lange levetid, ændringer i husstands-sammensætninger og brugernes behov.

Eksempler kan være:

- Funktionel fleksibilitet, hvor den rumlige organisering og udformning af de enkelte rum tilgodeser ændrede funktioner
- Valg af konstruktion/byggesystem. Herunder komponenternes levetid så man i den konstruktive opbygning evt. skelner mellem permanente bygningselementer (den bærende konstruktion) og udskiftelige elementer (fx ikke-bærende facade- og vægmoduler)
- Let tilgængelighed med henblik på vedligehold og udskiftning af installationer (de tekniske installationer har typisk en levetid væsentlig lavere end bygningens konstruktion, og samtidig udvikles hele tiden nye teknologier).

DESIGNPRINCIPPER

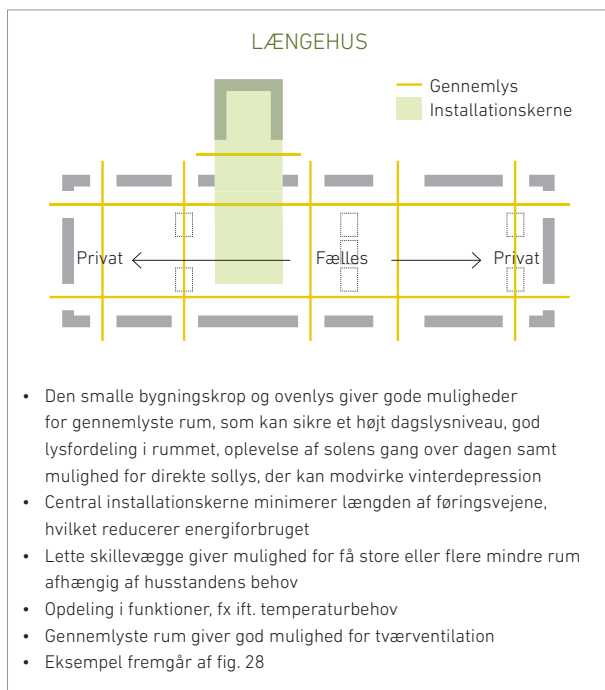


Fig. 28. Et bygget eksempel på et længehus opført efter passivhus standarden kunne være denne bolig fra Lind og Risør A/S.



Fig. 29. Et bygget eksempel på en vinkel bygning kunne være Bolig for Livet i Lystrup, DK, der er opført som plus-energihus.



Fig. 30. Et bygget eksempel på en kompakt bygning opført efter passivhus standarden kunne være Komforthuset Stenagervænget 49, Vejle, DK.

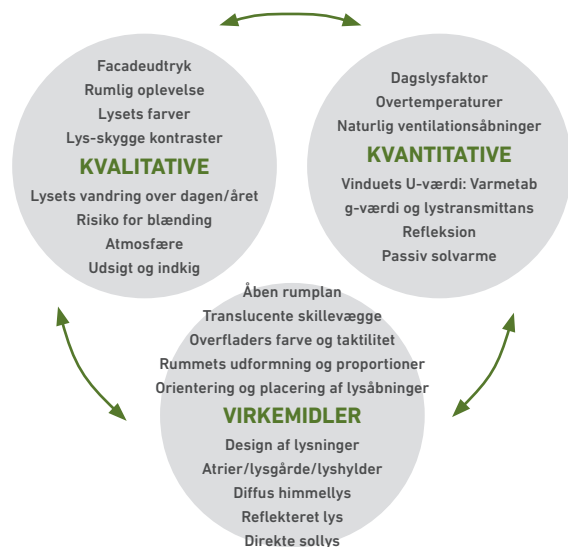
DAGSLYS, RUM OG FUNKTION

28

Dagslyset i boligen handler om at skabe gode og varierede dagslysforhold, og om at kunne regulere direkte sollys og passiv varme, så boligen også komfort- og energimæssigt fungerer optimalt.

Dagslyset er afgørende for vores opfattelse af rum og materialer; det vækker arkitekturen til live gennem varierende rumoplevelser, hvis udtryk og atmosfære ændrer sig med lysets gang over dagen og året. Dagslyset har stor betydning for vores velvære samt fysiske og mentale velbefindende; det regulerer vores døgnrytme og kan hjælpe til at modvirke stress og depression (Madsen & Hansen 2011). Derudover er dagslyset en gratis ressource i form af belysning og passiv solvarme. Dagslyset i boligen skal, som minimum, overholde bygningsreglementets krav. Udfordringerne er at begrænse overtemperaturer og blænding.

ASPEKTERI SPIL



Det er derfor vigtigt, at man fra starten af designprocessen udarbejder en dagslys-strategi, som forholder sig til både kvalitative og kvantitative aspekter af dagslyset.

UDNYT DAGSLYSETS FORSKELLIGE KVALITETER

Dagslyset er, i sin natur, dynamisk; dets intensitet, retning og farve varierer med tiden og vejret. Dagslys udgøres af direkte sollys, diffust himmellys og reflekteret lys.

Direkte sollys er intenst, retningsbestemt, skaber skarpe skygger og kan forårsage blænding. Det diffuse himmellys har en mere kølig tone, men er velegnet til generel belysning. Reflekteret lys er lys reflekteret fra de udendørs omgivelser og lys reflekteret fra rummets overflader (gulv, vægge, loft, lysninger). Overfladernes taktilitet og farve er derfor afgørende. Ved at kombinere de forskellige former for dagslys, kan man skabe varierede og stemningsfulde dagslysforhold, der varierer oplevelsen af rummet over dagen og året.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Lysåbningernes størrelse, placering og orientering
- At sikre nok dagslys på en overskyet dag (dagslysfaktor)
- Passiv solvarme og overtemperaturer (fx regulering med solafskærmning og udluftning)
- Dagslysets kvalitet (farve, kontraster, lysets vandring over dagen/året)
- Lysintensitet og blænding (fx regulering med gardin)
- Den rumlige oplevelse
- Indretning af rummet
- Udsigt og indkig
- Relation til uderum
- Facadeudtryk
- Vinduets/dørens opbygning (rude, ramme, karm)
- Glassets egenskaber (farve, g-værdi og lystransmittans).

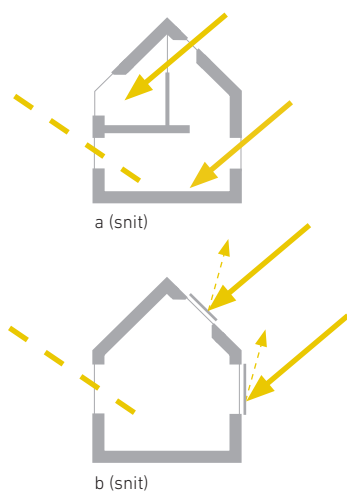


Fig. 31. I Sunlighthouse, Østrig, sikres dagslys fra flere sider ved at lade den øverste del af skillevæggen opføre i glas. Det giver samtidig gangen en større rumlighed.

Værktøjer til beregning af dagslys er for eksempel: VELUX Daylight Visualizer, Dialux, Radiance, Daysim, Relux m.fl.

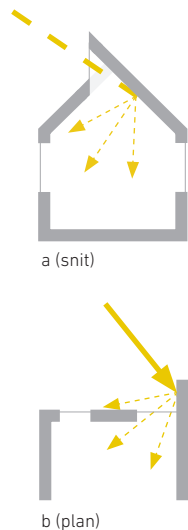
DESIGNPRINCIPPER

GENNEMLYSTE RUM



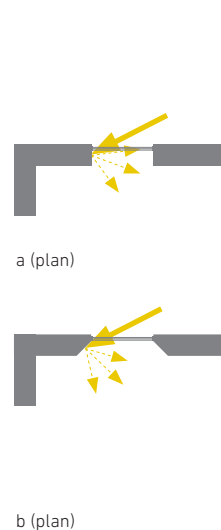
- En åben plan med lange kig er én måde at opnå en gennemlyst bolig. Boligen vil ændre karakter som lyset vandrer gennem rummene over dagen
- Transparent eller translucent glas i boligens skillevægge giver mulighed for gennemlyste rum med kun én facade (a, fig. 31)
- Selv når solafskærmning er nødvendig vil et gennemlyst rum være oplyst af diffust dagslys (b). Det minimerer behovet for kunstig belysning.

REFLEKTERET LYS



- Det reflekterede lys giver en generel belysning og kan bryde blænding fra det direkte sollys
- Lyset kan reflekteres dybere ind i rummet via indvendige overflader (gulv, vægge, loft (a, fig. 32)
- Lyset kan reflekteres ind i rummet via udvendige udkragende elementer (b)
- Hvordan og hvor meget lyset reflekteres afhænger af rummets udformning, samt overfladers farve og taktilitet.

LYSNINGEN



- Overgangen mellem åbningen og rummets flader kan detaljeres på mange måder - med stor betydning for, hvordan lyset flyder ind i rummet (a og b). En hvid lysning reflekterer lyset mest
- En vinkling af åbningens lysning giver en anden rumlig virkning og kan reflektere lyset dybere ind i rummet (b)
- Et eksempel ses i børnehaven i Langenegg, hvor vinduets karm er trukket tilbage så selv den yderste kant af loftfladen rammes af lysets stråler og reflekterer det ind i rummet (fig. 33).



Fig. 32. Reflekteret lys i Bolig for livet, Lystrup. Boligen er desuden designet med lys fra flere sider og ovenlys. Men vær opmærksom på risiko for blænding.



Fig. 33. Børnehaven i Langenegg, Østerg, 2004.

SOLAFSKÆRMNING, RUM OG FUNKTION

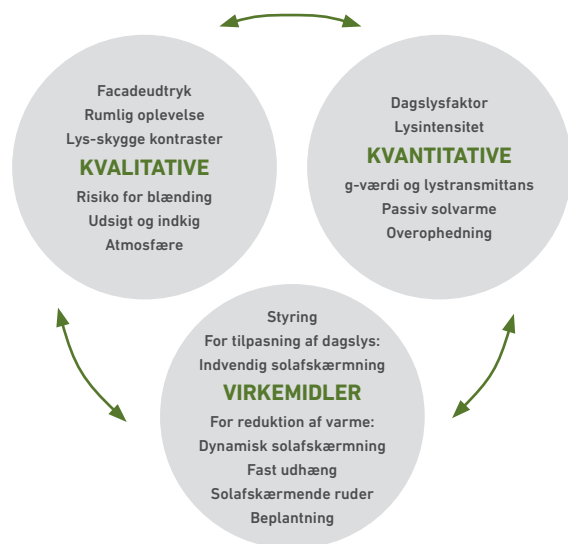
30

Hvis vi designer, så vi har et tilstrækkeligt og godt dagslys, ved vi, at der sommetider vil være for meget - resulterende i enten overophedning eller blænding. Derfor er det nødvendigt at integrere en form for solafskærmning.

Udvendig solafskærmning er et effektivt middel mod overophedning. Den direkte solstråling blokeres inden den når ind i rummet, og herved reduceres tilskuddet fra passiv solvarme. Ifølge (Jensen & Petersen 2013) er den udvendige solafskærmning helt afgørende for overholdelsen af det termiske indeklimakrav i BK2020, hvis man samtidig vil sikre gode dagslysf forhold i boligen.

Indvendig solafskærmning har kun begrænset betydning for overophedning, da solvarme da allerede er kommet ind i huset. Dets primære formål er at kunne tilpasse dagslyset og dermed

ASPEKTER I SPIL



undgå blænding samt at skærme mod indkig. Ved at kombinere forskellige former for solafskærmning, både indvendige og udvendige, kan man både sikre et godt indeklima, minimere energibehovet til køling og skabe stemningsfulde lysvirkninger. Udvendig og indvendig solafskærmning kan styres automatisk eller manuelt. Et krav til automatisk styring bør være, at brugerne ikke må føle mistet kontrol.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Indvirkning på rumlig oplevelse
- Rummets orientering
- Udsigt og indkig
- Effekt ift. overophedning og effekt ift. blænding
- Påvirkning af lysets kvalitet og lyset i rummet
- Facadeudtryk
- Styring - manuel eller automatisk (brugeren må ikke opleve følelsen af mistet kontrol)



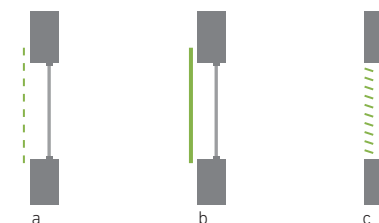
Fig. 34. Markisen blokerer for solens stråler, men ikke for udsigten.



Fig. 35. Udvendige rullegardiner reducerer passiv varme.

DESIGNPRINCIPPER FOR AT TILPASSE DAGSLYSET

INDVENDIG SOLAFSKÆRMNING



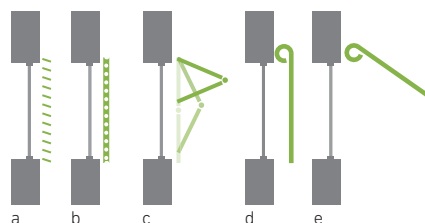
- Reducerer solvarmen med 10-20% (SBI anv. 202)
- Vær opmærksom på at ved indvending solafskærmning er solvarmen kommet ind i huset, og kan dermed føre til overophedning
- Et let gardin (a) skærmer mod blænding og indkig men ikke mod lyset og varmen
- Et tæt gardin (b) skærmer mod blænding, indkig og lyset
- Drejelige persienner (c) kan reflektere det direkte sollys og dermed modvirke blænding, mens udsynet kan bevares.



Fig.36. Solafskærmningen har stor betydning for den rumlige oplevelse. I denne bolig i i Lystrup, Danmark, kombineres udvendige lameller og perforerede stålplader til at regulere tilskuddet af passiv varme.

DESIGNPRINCIPPER FOR AT REDUCERE VARMEN

UDVENDIG SOLAFSKÆRMNING



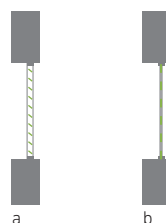
- Reducerer solvarmen med 70-90% (SBI anv. 202)
- Ved lameller (a) og perforerede plader (b, c) kan udsynet delvist bevares mens indstrålingen reduceres (fig. 36)
- Ved et udvendigt rullegardin (d) med delvis transparent tekstil kan udsynet delvist bevares mens indstrålingen reduceres (fig. 35)
- Ved markise (e) kan udsynet bevares mens indstrålingen reduceres (fig. 34). Vær opmærksom på vindhastigheder
- Dynamisk solafskærmning kræver styring; manuel eller automatisk
- Vær opmærksom på vedligeholdelsesudgifter ved udvending solafskærmning
- Vær opmærksom på, hvilke vindhastigheder solafskærmningen skal kunne fungere ved.

VANDRET UDHÆNG



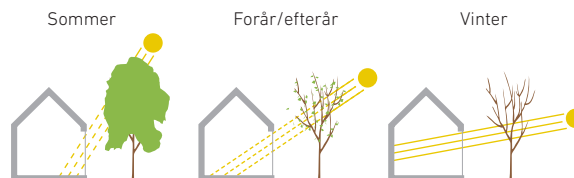
- Skærmer for høj sommermiddagssol
- Ingen effekt mod sommerens lave formiddags-/eftermiddagssol: risiko for overophedning, særligt ved gulv-til-loft vinduer
- Skærmer ikke mod den lave forårs-, efterårs- og vintersol
- Overdækket uderum - forlænger boligen
- Reducerer dagslyset i boligen.

SOLAFSKÆRMENDE RUDER



- Solafskærmning mellem glassene (a) kræver, sammenlignet med en udvendig solafskærmning, mindre vedligehold, men er ikke så effektiv i forhold til at reducere solvarmen
- Nye teknologier (b); fx vinduer med termocoating, dynamisk lystransmittans osv. (Winther 2013, Liu 2014)
- Vær opmærksom på at lysets kvaliteter ændres. Bl.a. lysets farve, farvespektrum og lysstyrke reduceres.

BEPLANTNING



- Løvfældende træer kan reducere indstråling om sommeren, men ikke om vinteren, hvor der er mere brug for solens varme og lys
- Et løvtræ med let løv, der filtrerer lyset, vil give et levende lysindfald og skygespil i boligen. Fx: ask, akasier, m.fl. (fig. 16).

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING RUM, FUNKTION, DAGSLYS OG SOLAFSKÆRMNING

- Rummenes udformning, placering og orientering ift. dagslys, solens gang over dagen/året, funktionalitet, rumforløb og -variation, udsigt, indkig, ventilation og føring af installationer?
- Bygningens udformning ift. områdets arkitektur (fx skala, formsprog, materialer), adgangsforhold og uderum?
- Bygningens fleksibilitet ift. funktioner og konstruktioner?
- Sikring af et godt lys i boligen, både mængde og kvalitet?
- Manuel eller automatisk styret solafskærmning der giver mulighed for regulering af dagslys og tilskud fra passiv solvarme samt afskærmning mod indkig?

PROCES



Mange af disse designparametre er forbundet til undersøgelsen af stedet og fastlæggelsen af designkriterier, og fastlægges derfor tidligt.



Designstrategier der omhandler rum, funktion, dagslys og solafskærmning er kernen i skitseringsfasen, hvor bygningskroppen tager sin form. Designparametrene er afgørende for både bygningsdesignet og bygningens tekniske performance. Det er derfor vigtigt at der løbende foretages beregninger, af stigende detaljeringsgrad, som undersøger de forskellige projektforslags tekniske performance.



Den overordnede form ligger fast. Projektforslaget konkretiseres og justeres ift. input fra simuleringer og beregning af fx dagslys og akustik.

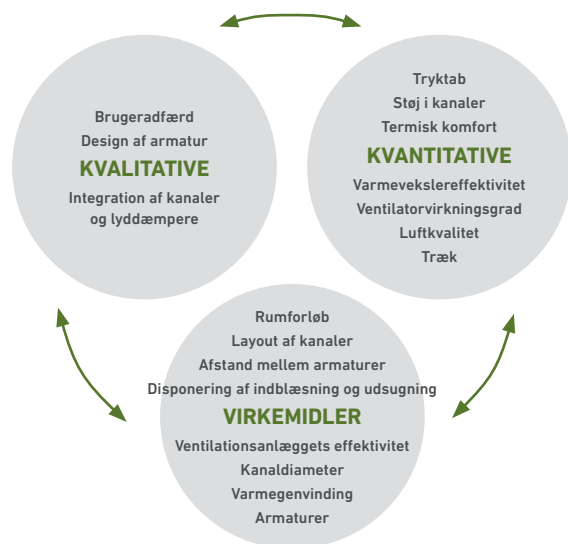
VENTILATION

32

Det primære formål med ventilation af boligen er at sikre et godt indeklima med god luftkvalitet og behagelige temperaturer. Valg af ventilationsstrategi har stor betydning for både bygningsdesignet, komforten i huset og for energiforbruget.

Overordnet skelner man mellem to forskellige ventilationsstrategier; naturlig og mekanisk ventilation. Mekanisk ventilation anvendes i opvarmningssæsonen, hvor man vha. effektiv varmegenvinding udnytter energien fra udsugningsluften til at opvarme indblæsningsluften, og hermed minimerer energibehovet til opvarmning. Udenfor opvarmningssæsonen, eller når der er behov for et større luftskifte for at undgå overtemperaturer, kan boligen med fordel ventileres naturligt gennem åbninger i klimaskærmen.

ASPEKTER I SPIL



HYBRID VENTILATION

En tredje strategi, som er særlig interessant i forhold til den energineutrale bolig, er hybrid ventilation. Denne kombinerer naturlig og mekanisk ventilation og udnytter dermed varmegenvindingen ved mekanisk ventilation og mulighed for høje luftskifter uden mere energiforbrug ved naturlig ventilation, og er derfor en både komfort- og energimæssig fornuftig løsning.

Hybrid ventilation kræver dog, at bygningen er designet i overensstemmelse med begge ventilationsstrategier, der kræver forskellige forhold til designet af boligen, for at fungere både teknisk og arkitektonisk optimalt. Se mere om hybrid ventilation i (Aggerholm et al. 2008).

MEKANISK VENTILATION

Når bygningen skal ventileres mekanisk skal overvejelser omkring placering, layout og dimensionering af kanaler, lyddæmpere, aggregat mm. indgå i den tidlige skitseringsfase.

Ved mekanisk ventilation med varmegenvinding udnyttes varmen i udsugningsluften til at opvarme den kolde indblæsningsluft. Varmegenvindingsanlægget mindsker således varmetabet ved ventilation. Ventilationsanlæggets effektivitet afhænger af mange faktorer, bl.a. føringsvejes længde og isolering, dimensionering af anlægget, brugeradfærd, styring og vedligehold samt ventilatorens og varmegenvindingsanlæggets virkningsgrad. Det er vigtigt at tage højde for muligheden for vedligehold og rengøring af kanalerne, da luftkvaliteten i høj grad afhænger af dette. For at minimere risikoen for overtemperaturer skal anlægget have en bypass funktion, som anvendes, når der ikke er behov for varmegenvinding.

Som udgangspunkt vælges mellem to løsninger for kanalføring; fordelingskanaler eller individuel kanalføring (se designprincipper for kanalføring). Valget har bl.a. betydning for størrelsen af kanaler og placering af lyddæmpere. En mulighed er

også decentrale anlæg i de enkelte rum.

Man kan med fordel lægge en strategi for, hvordan man kan justere luftmængderne afhængig af:

- Rummenes funktion/behov
- Ændringer i husstandssammensætningen (systemet skal være robust/fleksibelt, så det kan håndtere og sikre komfort, hvad enten der er 1, 2 eller 5 personer til stede)
- Ved opvarmning via ventilation kan man overveje, igennem designet af anlægget, at sikre mulighed for lavere temperatur i soveværelse end 20°C.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Ventilationskanaler er pladskrævende og skal integreres i den rumlige organisering (se designprincipper)
- Integration af anlæg. Et anlæg til boliger kan fås i forskellige størrelser, men der findes flere typer af anlæg, som kan være inden for et almindeligt 60x60 cm skab
- Både mekaniske og naturlige ventilationssystemer dimensioneres efter DS 447
- Layout af føringsveje (min. tryktab, min. støj mm.)
- I enfamiliehuse anvendes typisk kanaler med en diameter på 100-160 mm
- Vær opmærksom på at sikre plads til lyddæmpere, der fylder mere end kanalerne. Runde lyddæmpere har typisk en diameter der er 100-200 mm større end kanalerne
- Systemet bør tryktabsmæssigt være så symmetrisk som muligt
- Mulighed for vedligehold og udskiftning
- Bypass når der ikke er behov for varmegenvinding
- Ventilationsanlægget skal placeres indenfor klimaskærmen
- Overvej mulighed for fugtgenvinding, da luftfugtigheden kan blive meget lav om vinteren.

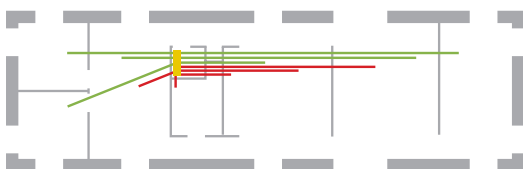
DESIGNPRINCIPPER FOR KANALFØRING

FORDELINGSKANALER



- Ventilation med fordelingskanaler
- Færre kanalmeter med større diameter
- Stiller større krav til størrelse på hulrum til kanalføring
- Lyddæmpere mellem hvert rum + ved overgang til ventilationsanlæg, så støjgener for brugerne minimeres.

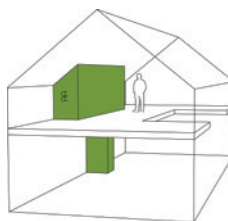
INDIVIDUEL KANALFØRING



- Individuel kanalføring til de enkelte rum
- Flere kanalmeter men mindre diameter
- Kanaler kan føres i mindre hulrum
- Lyddæmpning kan klares i teknikrum
- Kanalføring må ikke udføres i plast grundet brandsikkerhed.

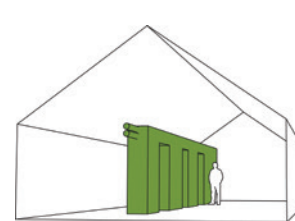
DESIGNPRINCIPPER for integration af kanaler

UDNYTTE SKUNKPLADS



Kanalerne kan føres i skunke og lignende, hvor zoner med eksempelvis lav loftshøjde kan udnyttes og supplere bygningens teknikrum.

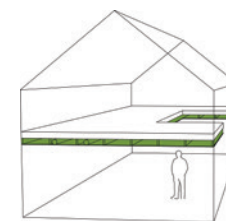
MULTIFUNKTIONELT ELEMENT



Kanalerne kan integreres i et langsgående element, der evt. kan have flere funktioner, fx:

- Fungere som rumdeler
- Integrere opbevaring
- Indeholde nicher
- Lade lyset passere henover for gennemlyste rum
- Sikre adgang til kanalerne for vedligehold.

LANGS BYGNINGENS FLADER



Kanalerne kan føres langs bygningens flader, fx:

- Under etagedæk (vær opmærksom på rumhøjden) (fig. 37)
- Over nedhængte loftplader ved loft til kip.

LYDDÆMPERE SKAL DÆMPE:

Støj fra ventilation og spjæld
Luftlydsoverførsel mellem rum
Støj fra kanaler (bør ikke forekomme).



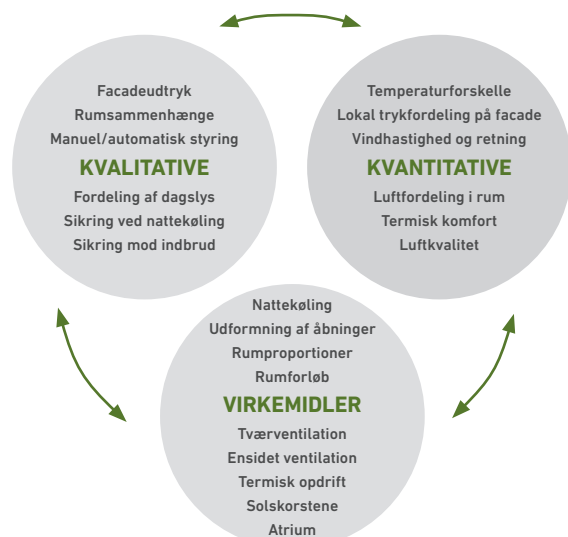
Fig. 37. Strør fæstnet under det bærende etagedæk sikrer plads til ventilationssystemets kanaler og lyddæmpere. Loftbeklædning monteres efterfølgende under strørene.

NATURLIG VENTILATION

Naturlig ventilations rolle i den energineutrale bolig er, sammen med solafskærmning og evt. køling, at bidrage til et godt termisk indeklima uden overtemperaturer. Den naturlige ventilation skal designes så der kan ventileres over natten og når ingen er hjemme. Udenfor opvarmningssæsonen kan boligen med naturlig ventilation ventileres mere end i opvarmningssæsonen og dermed sikre en endnu bedre luftkvalitet. Desuden kan naturlig ventilation have visse oplevelsesmæssige kvaliteter, idet man gennem dufte, luftfugtighed, variationer i vindhastighed osv. sanser omgivelserne og vejret, og giver mulighed for direkte brugerstyring af indeklimaet.

Naturlig ventilation af boligen er uløseligt forbundet med bygningsdesignet. Effektiviteten af den naturlige ventilation afhænger af mange faktorer, heriblandt bygningens omgivelser,

ASPEKTER I SPIL



mikroklimaet, bygningsdesignet (overordnet geometri, rumproportioner, rumforløb, vinduesåbninger mm.) og styring. Se mere omkring naturlig ventilation i (By og Byg anvisning 202).

Naturlig ventilation styres af trykforskelle:

- forårsaget af temperaturforskelle (termisk opdrift)
- forårsaget af vindhastighed.

Det er vigtigt at designe boligen, så man både kan udnytte termisk opdrift og trykforskel forårsaget af vind, så boligen også kan ventileres, når det ikke blæser, eller når forskellen på temperature ude og inde er lille. Indenfor naturlig ventilation skelnes overordnet mellem tre principper; ensidet ventilation, krydsventilation og termisk opdrift (også kaldet skorstens-effekt) (fig. 38). Oftest anvendes en kombination af principperne. Almindeligt anvendte værktøjer til beregning af naturlig ventilation er bl.a.: BSim, CONTAM, COMIS, Energy+.



Fig. 38. En solskorsten kan være med til at sikre, at boligen ventileres naturligt ved termisk opdrift.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

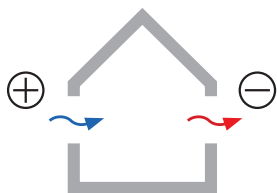
- Brug varierende rumligheder - forskydninger, dobbelt-høje rum, mm. - til at sikre god naturlig ventilation. Og husk: varm luft bevæger sig opad!
- Luftoverføring mellem rum
- Åbningerne (typisk vinduer) skal designes så det ønskede luftskifte kan tilvejebringes. Små og store åbningsmuligheder
- Automatisk eller manuel styring, mulighed for brugerstyring
- Manuel styring kan have konsekvenser i form af dårligt indeklima (overophedning og ringe luftkvalitet) eller øget energiforbrug. Desuden stiller manuel styring krav til brugerdeltagelse og viden om systemerne
- Ventilationen skal være tyverisikret, så boligen, ved behov, også kan ventileres om natten, og når ingen er hjemme.



Fig. 39. I denne bolig indgår skodder som en del af vinduessætningen. Vinduerne er faste og ventilationen foregår gennem skodderne ved at åbne en lem bag skodden. Skodden kan åbnes helt op eller låses efter behov.

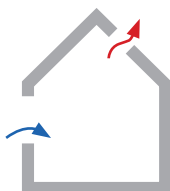
DESIGNPRINCIPPER

TVÆRVENTILATION



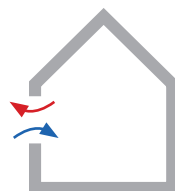
- Kan forekomme når der er åbninger i to eller flere ydervægge/tagflader
- Udeluften strømmer ind gennem åbninger i vindsiden (+) og ud gennem åbninger i læsiden (-). Det er derfor vigtigt at sikre, at bygningens geometri, orientering og mikroklima understøtter dette
- Rumdybden bør højst være 5 x rumhøjden.

TERMISK OPDRIFT



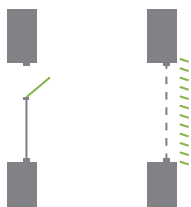
- Ventilationen forårsages af termisk opdrift
- Afhængig af ventilationsåbningernes areal, temperaturforskelle mellem inde- og udeluft samt højdeforskellen mellem åbningerne
- Gennem boligens rumlige organisering og design af ventilationen skal det sikres, at forurenset luft ikke vandrer til boligens øvrige rum
- Ved mere end én etage vil den øverste blive varmest. Dette bør indtænkes i boligens rumlige organisering.

ENSIDET VENTILATION



- Anvendes i rum med åbninger i én facade
- Ventilationen forårsages af vind, opdrift eller en kombination
- Rumdybden bør ikke overstige 2,5 x rumhøjden
- Giver mindst ventilation af de tre principper.

NATTEKØLING OG TYVERISIKRING



- Smalle vinduer (vandrette eller lodrette) kan sikre at boligen også, ved behov, kan ventileres om natten, og når ingen er hjemme.
- Fastspændte skodder foran åbningerne er et andet alternativ (fig. 39)

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING VENTILATION

- At designe boligen så hybrid ventilation er mulig?
- Layout og udformning af kanalføring ift. teknisk performance, vedligehold, udskiftning, mm.?
- Plads til og integration af kanaler og lyddæmpere i arkitekturen?
- En strategi ift. justering af luftmængderne?
- Rumlig udformning som understøtter naturlig ventilation (om sommeren), jf. principperne termisk opdrift, en-sided og tværv ventilation?
- Designet af åbninger (typisk vinduer) så det ønskede luftskifte kan tilvejebringes ved behov for køling?
- Automatisk eller manuel styring? Husk at tage højde for brugeradfærd og -behov.
- Sikring mod fx indbrud så bygningen også kan ventileres, når der ingen er hjemme og om natten?

PROCES



I de indledende faser afklarer et tværfagligt designteam i samråd med bygherren den overordnede ventilationsstrategi; mekanisk, naturlig eller hybrid.



Den valgte ventilationsstrategi udgør en væsentlig designparameter, når der udarbejdes løsningsforslag. Undervejs foretages løbende beregninger af stigende detaljeringsniveau.



Det givne projektforslag konkretiseret gennem simuleringer af den naturlige ventilation i fx BSim og detaljerede beregninger af det mekaniske ventilationssystem. Eventuelle justering i projektforslaget foretages.

OPVARMNING

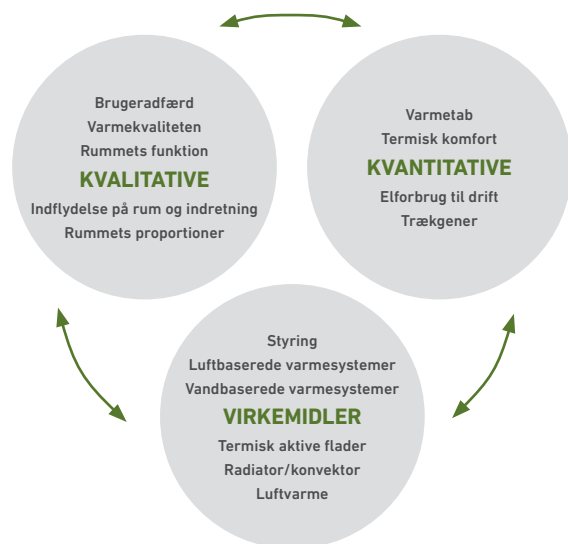
36

Design af den energineutrale boligs opvarmningssystem kræver, ud over en fastlæggelse af boligens energiforsyning (se afsnittene Forsyning, el og varme samt Varmepumper), en klarlægning af, hvordan varmen skal føres rundt og afgives i de enkelte rum. Typen af varmesystem kan have stor betydning for både rummets udtryk og konstruktion, og viden omkring de forskellige muligheder, deres potentialer og udfordringer, skal derfor inddrages i den tidlige skitsering.

VARMEAFGIVERE

Overordnet set skelnes mellem luftbaserede og vandbaserede varmeafgivere. Disse afgiver varme på forskellige måder (stråling, konvektion og temperaturniveau), hvilket vil føre til forskellige niveauer af komfort og energieffektivitet. Et udvalg kan ses under Designprincipper.

ASPEKTER I SPIL



Sammenligner man de to typer varmefordelingssystemer, er der flere ting der taler til fordel for de vandbaserede. De vandbaserede systemer er mere energieffektive, da de kan arbejde ved lavere temperaturniveauer og bruger betydeligt mindre el til varmetransport end luftbårne systemer.

TERMISK AKTIVE FLADER

Et eksempel på en varmeafgiver er termisk aktive flader, der er en bygningsdel der kan fungere som varme- eller køleflade. Denne teknologi er almindelig kendt og anvendt i boliger i Danmark, hvor vi typisk oplever den i form af gulvvarme. Teknologien besidder dog også et potentiale i forhold til køling.

Sammenlignet med et konventionelt radiatorsystem, kan denne teknologi aktivere større områder, hvorfor det er muligt at anvende lavtemperatur opvarmning og højtemperatur køling. Desuden er denne teknologi anvendt og integreret i bygningskonstruktionen i andre bygningstypologier – enten i gulv, loft eller vægge – og er således "usynlig" og muliggør at rummet fremstår med "rene linjer". Se evt. mere i (Le Dreau 2014).

Det er vigtigt at opvarmningssystemet ikke er for trægt (langsomt til at regulere), så det hele tiden kan tilpasse varmemængden efter boligens behov. Den bedste løsning for et givet boligprojekt afhænger dog også af andre faktorer, eksempelvis:

- Rummets geometri
- Forventet brug og møblering af rummet
- Tilgængelige overflader.

Designprincipperne viser nogle eksempler på gængse varmeafgivere og hvad man bør være opmærksom på ift. anvendelse af disse i en energineutral bolig.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Valget af varmeafgiver har betydning for både arkitekturen, komforten, energiforbruget og økonomien
- En termisk aktiv flade bør være så stor som mulig så lavtemperatur opvarmning og højtemperatur køling kan anvendes
- Udenfor fjernvarmeområder og hvis boligen har et meget lavt opvarmningsbehov, kan ren elvarme eller luft/luft varmepumper til hvert rum (hvis boligen har få rum) måske være mere økonomisk end et komplet varmefordelingsanlæg. Dog forudsat, at størstedelen af det varme brugsvand kan dækkes med solfanger
- Anvendes gulvvarme er det vigtigt at isolere godt under gulvvarmeslangerne.

DESIGNPRINCIPPER

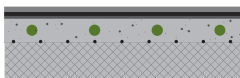
GULVVARME

Generelt

- Begrænset varme- og kølekapacitet, omkring 40 W/m²

1. Varmerør indstøbt i dæk (a)
 - Stor tidskonstant (træg regulering)
 - Termisk komfort kan ikke opnås ved hurtige og store variationer i varmebelastningen
 - Princippet kan også anvendes i vægge, denne løsning er meget benyttet i udlandet.

2. Varmerør på varmefordelingsplader (b)
 - Mindre tidskonstant (hurtigere regulerende).



- a. Eksempel på varmerør indstøbt i betondæk. Fra oven: Trægulv/klinker, mellemlag, betonplade 30-70 mm over varmerør, armeringsnet, isolering.



- b. Eksempel på gulvvarme ved trækonstruktion. Fra oven: Trægulv, mellemlag, varmerør på varmefordelingsplader, brædder på strør, bjælkelag og isolering.

RADIATOR / KONVEKTOR

- En velkendt og afprøvet løsning til opvarmning i boliger
- Findes i et utal af udformninger, størrelser og designs
- Elradiatorer kan være en økonomisk løsning ved meget lave rumvarmebehov, som i den energineutrale bolig, eller som varmekilde i rum, som kun sjældent opvarmes. Eventuelt kan elforbruget kompenseres med solceller.

Eksempel gulvkonvektor:

- Er placeret under en rist i gulvet og optager således ikke plads i rummet eller foran et vindue (fig. 40)
- Pga. det lave opvarmningsbehov er en blæser ikke nødvendig
- Graven skal være godt isoleret, særligt mod jord og fundament.



Fig. 40. Gulvkonvektor.

LUFTVARME

- Luftvarme er ofte en del af moderne lavenergibyggeri, idet varmen fra udsugningsluften udnyttes til forvarmning af den friske indblæsningsluft. Evt. eftervarme kan tilføres som vandbåren varme eller el
- Armaturets design og placering kan have stor betydning for rummet (fig. 41)
- Varmen kan tilføres fra vand/luft varmeveksler eller direkte fra luft/luft varme-pumpe i det enkelte rum
- Fra 2020 må luftvarme ikke udgøre bygningsens eneste varmekilde (BR10, 7.2.5.1 stk. 12)
- Der skal være mulighed for individuel regulering af alle rum
- Vær opmærksom på støj fra ventilatorer og lydoverførsel mellem rum (se afsnittet Ventilation)
- Den dimensionerende indblæsningsstemperatur må ikke overstige 35°. (DS 469).



Fig. 41. Eks. på indblæsningsarmatur indbygget over skabelement.

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING OPVARMNING

- Skal boligens varmesystem primært være luftbaseret eller vandbaseret?
- Hvordan integreres installationerne?
- Styling af installationerne? Husk at tage højde for brugeradfærd og -behov.
- At der afsættes tilstrækkelig plads til centrale installationer som beholder og varmepumpe (serviceforhold).
- Typen af varmesystem ift. hvilken komfort der ønskes?
- En enkel installationsløsning? Komplicerede installationer medfører ofte fejl under installation og drift.

37

PROCES



I nogle tilfælde afgøres valget af varmesystem allerede i den indledende fase, evt. ud fra krav fra bygherren.



Valget af varmesystem træffes (senest) i skitseringsfasen, så systemet kan integreres i konstruktionen og udformningen af rummene. Ved et vandbaseret varmesystem skal det afklares hvordan rør integreres i konstruktionerne, evt. hvilke flader der er termisk aktive. Ved luftbaseret varmesystem skal der tages højde for kanalføring og dimensionerne af kanaler i rummene.



Varmesystemet optimeres.

MATERIALER OG AKUSTIK

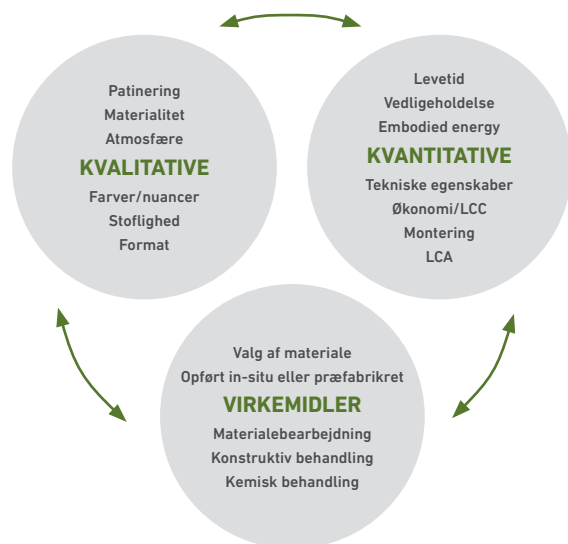
38

For at sikre et bæredygtigt byggeri er det vigtigt at forholde sig til, hvordan bygningens materialer påvirker omgivelserne og miljøet, herunder indeklimaet og akustikken samt brugerens sanselige oplevelse af boligen.

MATERIALER

Det kan være omfattende at klarlægge et materiales fulde miljøpåvirkning, men der udvikles løbende oversigter over forskellige materials LCA (livscyklusanalyse), og dette indgår bl.a. i certificeringer som DGNB. Et koncept som Cradle to Cradle® går et skridt videre i forhold til materialernes bæredygtighed. Manualen "Cradle to Cradle® i det byggede miljø" (Jørgensen & Lyngsgaard 2013) giver et indblik i, hvordan man i praksis kan arbejde med dette koncept.

ASPEKTER I SPIL



Materialer er udgangspunktet for arkitekturen. Materialerne danner rammerne for rummet, og lysets spil i materialerne giver rummet dets karakter og atmosfære. Det er materialerne vi møder – sanser, rører, går på og dufter – og i samspil med rummets udformning er det materialerne, der definerer rummets akustik. For at kunne anvende byggeriets materialer optimalt må vi kende deres egenskaber. Modellen (fig. 42) giver et bud på en række essentielle materialeparametre og kan være med til at klarlægge og italesætte kvaliteter, som er afgørende for, hvordan vi kan anvende og vil opleve et materiale i en arkitektonisk sammenhæng (fig. 43).

Et andet væsentligt aspekt i forhold til et materiales bæredygtighed er, hvordan materialet vil ændre sig over tid under

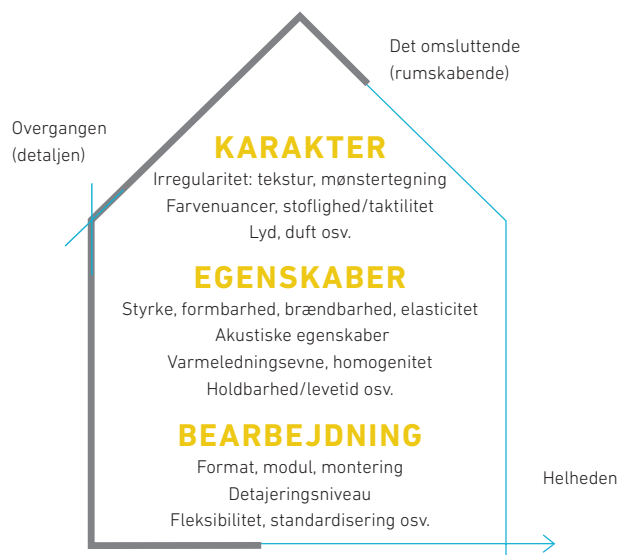


Fig. 42: Det er i sammenhængen mellem detaljer og overgange (hvordan materialer mødes), måden hvorpå materialet former en rumlighed og bygningens fremtoning i sin helhed, at arkitekturen opstår (Bejder 2012).

påvirkning af vejr og vind. Alle materialer kræver vedligehold, omend behovet for vedligehold varierer meget. Indsigt i materialets egenskaber og stedets klimatiske forhold er derfor vigtig.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Boligens ønskede udtryk
- Materialets tekniske egenskaber
- Materialets karakter (sanselige egenskaber)
- Materialets forarbejdning (format/modul, montering, mm.)
- Patinerings
- Akustik
- Materialets LCA
- Afgasning fra materialerne
- Mulighed for genanvendelighed
- Vedligeholdelse



Fig. 43: Afhængig af materialet, dets form, bearbejdning og detaljering samt den materiale sammenhæng det indgår i, er udtrykket vidt forskelligt.



Fig. 44. Mange boliger opføres i dag med store åbne rum og hårde materialer (fx klinkegulve, glatpudsede vægge og lofter), hvilket ofte fører til ringe rumakustik. Lydabsorberende akustikplader (som på billedet), er én måde at sikre en bedre rumakustik. Tæpper, bløde møbler og billeder kan også hjælpe.

AKUSTIK I BOLIGEN

Akustik er ofte et overset emne indenfor boligbyggeri og særligt når vi taler om enfamiliehuse. Ikke desto mindre har akustikken stor betydning for boligens indeklima og dermed for den energineutrale boligs bæredygtighed. Desuden kan akustikken udgøre et effektivt virkemiddel til at understrege et rums karakter. Akustik dækker over: rumakustik (fig. 44), bygningsakustik og støj fra installationer.

RUMAKUSTIK OMHANDLER:

- Efterklangstid
- Taleforståelighed

Vær opmærksom på risiko for dårlig rumakustik ved:

- Store rum
- Parallelle overflader
- Hårde materialer

BYGNINGSAKUSTIK OMHANDLER:

- Støj fra omgivelserne (fx naboer, trafik)
- Trinlyd (typisk mellem to etager)
- Luftbåren støj (fx musik, apparater)
- Vibrationer

Dæmpes ved:

- Lydisolering mellem rum
- Detaljeringer i konstruktionen: undgå at lyden vandrer

STØJ FRA INSTALLATIONER OMHANDLER:

- Ventilationsanlæg (jf. tidligere omtalt under Ventilation)
- Varmeanlæg
- Brugsvandsanlæg

Dæmpes ved:

- Lyddæmpere ved mekanisk ventilation (jf. tidligere omtalt under Ventilation)

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING MATERIALER OG AKUSTIK

- Valget af materiale(r) ift. dets bearbejdning, egenskaber og karakter?
- Anvendelsen af materialet ift. dets bearbejdning, egenskaber og karakter?
- Materialernes miljøpåvirkning?
- Hvordan materialet patinerer? Og kræver det givne materiale særlige forhold, fx konstruktionsmæssig detaljering eller kemisk beskyttelse?
- Udformningen af rum og valg af materialer ift. rumakustik?
- Udformningen konstruktioner og installationer ift. bygningsakustik og støj?

39

PROCES



Materialebetragtninger indgår hele processen igennem. I de indledende faser udspringer overvejelser omkring materialer fra fx analyser af stedet, bygherrens ønsker, samt designteamets umiddelbare og intuitive oplevelse af projektet. Senere overvejelser knytter sig fx til valg af konstruktionstype - eller også udspringer valget af konstruktion ud fra specifikke materialeønsker. Materialebetragtningerne kan både være overordnede og detaljerede hele designprocessen igennem. I takt med at projektet konkretiseres bliver betragtningerne mere detaljerede, fx hvordan mødes materialerne ved samlinger på en måde så både tekniske aspekter tilgodeses og der opnås en æstetisk syntese mellem detaljer og bygningen som helhed.



Akustiske betragtninger indgår under de generelle materialeovervejelser - altså under hele processen - og rumakustik er desuden en vigtigt designparameter ift. rumdannelser og -proportioner.



KLIMASKÆRM

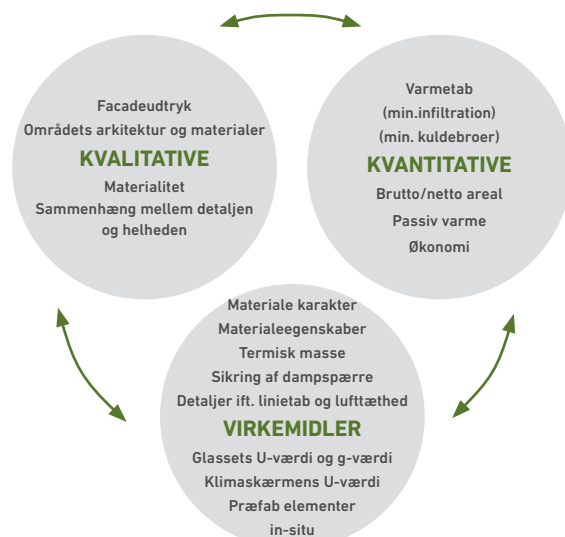
40

Den energineutrale boligs klimaskærms konstruktive opbygning er afgørende for både bygningens udtryk og energibehovet.

Klimaskærmen er bygningens ydre membran, der kontrollerer og regulerer varme, lys og luft i boligen. Klimaskærmen består af:

- Ydervægge, tag, terrændæk. Afgør hvor meget varme der slipper ud
- Åbninger (vinduer og yderdøre). Afgør hvor meget varme der slipper ud, samt varme og lys der slippes ind.

ASPEKTER I SPIL



Med de skærpede krav til bygningers energibehov står bygningsdesignere over for to mulige tilgange;

1. Vi kan udvikle måden, hvorpå vi bygger med gamle (kendte) materialer. Det kræver typisk ekstra isolering og særlig omhyggelighed med detaljeringen for at undgå kuldebroer og utætheder

2. Vi kan anvende nye materialer og udnytte de egenskaber, som de enkelte materialer besidder. Det kræver først og fremmest ny viden og lyst til at udvikle.

Den højsolerede og tykke klimaskærm er ofte genstand for stor kritik, ikke mindst fordi den reducerer nettoarealet. Dog kan den tykke klimaskærm, udover det energimæssige, også udgøre et arkitektonisk og komfortmæssigt potentiale.

Klimaskærmen går fra at være en flade, der definerer rummets grænser og overgang til omgivelserne til, i sig selv, at udgøre en rumlighed i kraft af dens dybde. De højsolerede vinduer minimerer risikoen for kuldeneffald og dermed træk - hvormed også zoner helt op ad store glasarealer tilbyder komfortable forhold. Disse nicher giver mulighed for iscenesættelse af særlige rumlige oplevelser – en defineret plads i lyset, i grænsen mellem boligen og dens omgivelserne (fig. 45).

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Høj isoleringsevne (lav U-værdi)
- Minimering af kuldebroer
- Minimering af infiltration (utætheder i klimaskærmen)
- Skal konstruktionen komme til udtryk i arkitekturen?
- Skal bygningen opbygges på stedet?
- Skal der anvendes præfabrikerede elementer?

ISOLERINGSEVNE AF KLIMASKÆRM EKSKLUSIV VINDUER OG DØRE

BK2020:

1 etage: Gns. U-værdi: 0,12 W/(m²K)

2 etager: Gns. U-værdi: 0,15 W/(m²K)

3+ etager: Gns. U-værdi: 0,18 W/(m²K)

LUFTTÆTHED

BK2020: max. 0,5 l/s pr. m² ved 50 Pa

Fokus på:

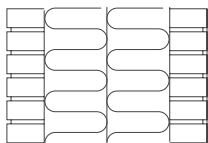
- Begræns gennemfyndning af tæthedsplan
- Sikring af dampspærren (fx hvor installationer føres gennem)
- Design der understøtter bygbarhed.



Fig. 45. Den tykke klimaskærm og de højsolerede ruder minimerer kuldeneffald og åbner op for nye rumlige muligheder, som vist her i kræftrådgivningscenteret i Næstved.

DESIGNPRINCIPPER

TUNG KONSTRUKTION



- Eksempel på tung konstruktion: Tegl, isolering, tegl: U-værdi $0,086 \text{ W/m}^2\text{K}$, tykkelse $\sim 600 \text{ mm}$. Varmekapacitet: $204 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. (Larsen & Brunsgaard 2010)

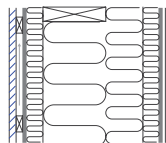
Generelt for tung konstruktion:

- Varmeakkumuleringssevne: $120\text{-}160 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. (SBI anv. 213)
- Boliger med tunge konstruktioner (fx fig. 46) kræver særlig fokus på bortventilering af passiv varme, fx ved nattekøling.



Fig. 46. Tung konstruktion som massivt volumen.

LET KONSTRUKTION



- Eksempel på let konstruktion: Højsoliseret konstruktion med træ- eller stålskelet. Eks. trækonstruktion, isolering, beklædninger: U-værdi $0,096 \text{ W/m}^2\text{K}$, tykkelse $\sim 500 \text{ mm}$. Varmekapacitet: $84 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. (Larsen & Brunsgaard 2010)

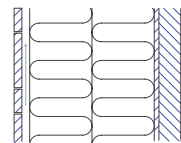
Generelt for let konstruktion:

- Varmeakkumuleringssevne: $40\text{-}80 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. (SBI anv. 213)
- (Ofte) mange lag med hver sin specifikke funktion
- Bygningens konstruktive princip er skjult i klimaskærmen og ikke et eksponeret arkitektonisk element
- Bygningens udtryk ligger i kompositionen af volumener og i mødet mellem overflader, deres bearbejdning og karakter (fig. 47).



Fig. 47. Overflader der mødes i skarpe linjer.

PRÆFABRIKEREDE ELEMENTER



Eksempel på præfabrikeret konstruktion: Massivtræselement, isolering, beklædning: U-værdi $0,092 \text{ W/m}^2\text{K}$, tykkelse $\sim 550 \text{ mm}$. Varmekapacitet: $120 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. (Larsen & Brunsgaard 2010)

Generelt for præfabrikerede elementer:

- Præfabrikerede elementer kan leveres med meget høj færdighedsgrad, dvs. høj kvalitetssikring og mindre afhængig af vejrlig
- Max elementstørrelse ud fra transporthensyn
- Plane elementer eller rummoduler
- Ved meget høj færdighedsgrad vil udtrykket ofte blive defineret af samlingen mellem modulernes grænseflader.

Nyere udvikling:

- Sandwichelement med højstyrkebeton. Fx Connovate udviklet af Arkitema, Abercon og Contec. Fx færdig elementtykkelse 340 mm med isoleringsevne tilsvarende 620 mm traditionel tung konstruktion
- Krydslimede massivtræselementer.

TERMISK MASSE

Termisk masse fungerer som energilagring, hvor den passive varme fra solen lagres i konstruktionen til senere afgivelse i opvarmningssæsonen og lagring af overskudsvarme om sommeren, der bortventileres om natten ved naturlig ventilation. Herved kan temperaturen i rummet udjævnnes over dagen, og energi til opvarmning kan reduceres og overtemperaturer mindskes. Termisk masse kan fås gennem:

- Tunge konstruktioner
- Lette konstruktioner med PCM (phase change material). Eksempelvis udgør en 13 mm gipsplade med PCM en termisk masse svarende til $5\text{-}10 \text{ cm}$ beton.

Hvis man vil udnytte termisk masse bedst muligt, skal man være opmærksom på:

- Solens stråler skal ramme fladerne!
- Anvend materialer med høj varmeakkumuleringssevne. Fx er betongulv eller fliser effektivt.
- Møblering, billeder, tæpper osv. vil betyde, at den termiske effekt mindskes, da de forhindrer solens stråler i at nå den termiske masse (men er til gengæld godt for akustikken).

Termisk masse nævnes oftest som en kvalitet, men termisk masse i den energineutrale bolig kan også udgøre et problem (Larsen 2011). I og med at varmebehovet er så lille kan man risikere, at meget termisk masse i boligen resulterer i overtemperaturer (se side 17 omkring behovet for passiv varme). Hvis man arbejder med termisk masse, er det derfor vigtigt at sikre, at overskudsvarme kan bortventileres, fx ved effektiv nattekøling, samt at dokumentere indeklimaet ved detaljerede, dynamiske undersøgelser.

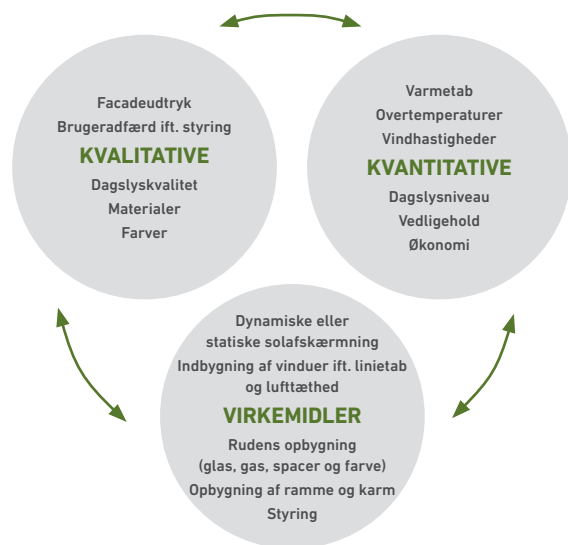
KLIMASKÆRM, VINDUER, LYS OG VARME

42

Klimaskærmens åbninger afgør hvor meget varme, der slipper ud samt varme og lys der slippes ind, og sikrer samtidig udsyn og kontakt til omgivelserne. Der kan være stor forskel på lavenergivinduer, og kuldebroer (linjetab) og utætheder omkring vinduer/døre får forholdsvis stor betydning i den højsolerede klimaskærm (Brunsgaard 2010).

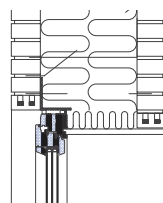
En traditionel vinduesløsning med en muret fals har et linjetab på ca. 0,1 W/mK (Brunsgaard et al. 2008), hvilket resulterer i et relativt stort varmetab, set ift. det samlede varmetab. Enten skal der kompenseres for varmetabet et andet sted eller en anden løsning for montering af vinduet skal findes. Eksemplerne under designprincipper illustrerer tre mulige løsninger, og oprider en række tekniske og æstetiske potentialer og udfordringer forbundet hermed. Andre eksempler kan findes i (Larsen & Brunsgaard 2010).

ASPEKTER I SPIL



DESIGNPRINCIPPER

VINDUE YDERST I FACADE



- Vinduesdybde: 0 mm
- Isoleret vinduesramme: Ja (indvendig side)
- Gns. linietab (W/mK): ~0,000
- Vinduet åbner udad (Brunsgaard 2010)
- Den dybe vindueskarm kan udnyttes rumligt (siddeplads, ekstra borddybde mm.)
- Plan facade - kun lidt skyggeeffekt (fig. 48, højre vindue).

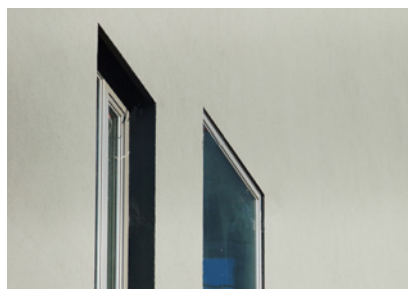
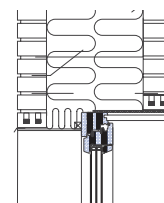


Fig. 48. Eksempel på placering af vindue i midten og yderst i facaden.

VINDUE PLACERET I MIDTEN

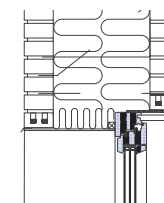


- Vinduesdybde: 115 mm
- Isoleret vinduesramme: Ja (udvendig side)
- Gns. linietab (W/mK): ~0,009
- Vinduet åbner indad (Brunsgaard 2010)
- Mulighed for at integrere udvendig solafskærmning plan med facaden (fig. 50)



Fig. 49. Vintermorgen med hård frost: trelags energiruder har svært ved at slippe nattens rimfrost.

TILBAGETRUKKET VINDUE



- Vinduesdybde: 230 mm
- Isoleret vinduesramme: Ja (udvendig side)
- Gns. linietab (W/mK): ~0,008
- Vinduet åbner indad (Brunsgaard 2010)
- Stor skyggeeffekt i facade (fig. 48)
- Mulighed for at integrere udvendig solafskærmning plan med facaden (fig. 50)
- Afhængig af vinduets størrelse vil klimaskærmen skærme for den passive varme.



Fig. 50. En vinduesfals med dybde muliggør en udvendig solafskærmning i plan med facaden.

LYS OG VARME GENNEM KLIMASKÆRMEN

Den udvendige solafskærmning regulerer mængden af varme og lys, der passerer gennem klimaskærmen (se afsnittet Solafskærmning). Solafskærmningen kan udformes og integreres på mange forskellige måder (fig. 51), og kan spænde fra traditionelle manuelt flytbare skodder til intelligente facader (se Winther 2013 og Liu 2014).

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Facadeudtryk
- Åbningens orientering
- Hvordan vinduet indbygges i ydervæggen; placering og montering har stor indflydelse på kuldebroer samt linietabet
- Sikring af dampspærren omkring åbningen
- Evt. fugtighedsbestandige vindues- og dørfalse
- Sikring af tilstrækkeligt areal og rigtig placering af oplukkelige vinduer for naturlig ventilation og dagslys
- Overvej evt. en kombination af oplukkelige og faste vinduer
- Opbygning af rammen; materiale og rammeareal i forhold til glasareal (ramme og karm har en højere U-værdi end ruden)
- Opbygning af ruden; antal lag glas, gas, spacer (fx vælg plastik; fås i forskellige farver), coating m.m.
- Ved trelags energiruder kan kondens og rimfrost blokere for udsynet ved hård frost og ingen sol (fig. 49)
- Behovet for solafskærmning
- Automatisk- eller manuel styring
- Om solafskærmningen betjenes udefra eller indefra
- Hvor høje vindhastigheder solafskærmningen skal kunne fungere i.



Fig. 51. I Bolig for Livet kombineres flere typer udvendig solafskærmning;

- Faste udhæng mod syd. Skærmer for høj sommermiddagssol. Danner desuden overdækkede uderum
- Skydeskodder med lodrette lameller skærmer mod sol fra øst og vest. Manuelt styret
- Udvendige rullegardiner ved tagvinduer og mod syd. Delvist transparente så udsyn bevares. Automatisk styret.

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING KLIMASKÆRMEN, VINDUER, LYS OG VARME

- Klimaskærmens konstruktive opbygning og materialevalg ift. varmetab, indeklima (afgassing, akustik, mm.) og arkitektonisk udtryk?
- Brugen af termisk masse?
Vær opmærksom på risiko for overophedning.
- Montering af vinduer/døre ift. minimering af kuldebroer/linjetab?
- Sikring af klimaskærmens lufttætte lag? Vær særlig opmærksom på hvor laget brydes (af vinduer, installationer mm.)
- Solafskærmningen som en arkitektonisk integreret del af klimaskærmen?
- Solafskærmningen ift. behovet, styring, betjening, samt hvilke vindhastigheder, den skal fungere ved?

PROCES

I skitseringsfasen afprøves forskellige konstruktionsopbygninger, typer af vinduer/døre og samlingsdetaljer (fx montering af vinduer), som vurderes ud fra æstetiske og tekniske overvejelser. Overordnede beregninger af varmetab og kuldebroer foretages.



Evt. brug af præfabrikerede elementer bør fastlægges i skitseringsfasen, da elementstørrelser mm. kan være afgørende for bl.a. bygningens og rummenes proportioner.



Klimaskærmens opbygning, valg af vinduer og døre samt samlingsdetaljer skal ligge fast når projektet konkretiseres (og ikke vente til endelig projektering af byggeriet).



ENERGIFORSYNING

DESIGNPRINCIPPER

DEN ENERGINEUTRALE BOLIGS (LAVE) ENERGIBEHOV KAN DÆKKES AF FORSKELLIGE VEDVARENDE ENERGIKILDER. I DET FØLGENDE SKITSERES EN RÆKKE ENERGISYSTEMER OG VARMESYSTEMER, DER KAN VÆRE SÆRLIGT RELEVANTE FOR DEN ENERGINEUTRALE BOLIG.

FORSYNING, EL OG VARME

46

I det foregående har vi set på forskellige tiltag for at opnå det bedst mulige design og det bedst mulige indeklima indenfor rammerne af et meget lavt energibehov. I dette afsnit ser vi på, hvordan dette (lave) energibehov kan dækkes og modsvares af forskellige vedvarende energikilder. Energiforbruget der skal dækkes omfatter energi til:

- Opvarmning
- Varmt brugsvand
- El til bygningsdrift (ventilation, pumper mm.)
- El til apparater (belysning, husholdningsapparater mm.).

Energiforbruget kan dækkes ved tilkobling til nettet (fx fjernvarme og elnettet), ved egenproduktion på bygningen og/eller grunden eller ved produktion af energi i lokalområdets ejerlav. For at bygningen kan defineres som energineutral må den energi, der leveres af nettet modsvares gennem egenproduktion (ved elproduktion, der "betaler" tilbage til nettet, når egenproduktionen er større end det foreliggende behov (jf. definitionen s. 6-7).

Ifølge IDA's Klimaplan 2050 (Mathiesen et al. 2009) skal elforbruget i husholdninger reduceres med 50 % i 2050 set i forhold til 2008-niveau. El-besparende apparater er en nødvendighed, men en ændring af brugeradfærden er også afgørende. Desuden kan designet af boligen også medvirke til en reduktion af elforbruget, fx gode dagslysforhold, plads til tørring af tøj og evt. en nytænkning af madopbevaring mm.

I udviklingen af energineutrale boliger lægges der vægt på, at finde den optimale balance mellem energibesparelser og vedvarende energiproduktion i bygningen i samspil med energiforsyningssystemet, således at de samlede ressourcer udnyttes bedst muligt. Der findes ikke en generelt gældende optimal løsning på denne balance - det afhænger af det enkelte projekt

og områdets muligheder. Men vi kan sige noget generelt om tre overordnede principper:

1. Gennem designet reduceres den energineutrale boligens opvarmningbehov (opvarmning og varmt brugsvand) til omkring 20-25 kWh/m² pr. år. Ifølge Aggerholms beregninger fra 2011 kan yderligere reduktioner end 20 kWh/m² pr. år være forholds-mæssigt meget fordyrende (Aggerholm 2011).
2. Den energineutrale bolig er altid tilkoblet elnettet. Derudover producerer den energineutrale bolig el, der kan modsvare dens energibehov. Det kan enten foregå på bygningen og/eller grunden (fig. 52), ved køb af andel i større vedvarende energiproduktion, fx lokalområdets ejerlav (fig. 53), eller ved andel af vindmøllepark og lign.
3. Brug kollektiv forsyning hvor det er muligt. Samfundsøkonomisk er dette den bedste løsning. (Lund 2010)

FJERNVARME

Fjernvarmen i Danmark befinder sig i en overgangsfase. De nuværende politiske mål er, at al el- og varmeproduktion skal være baseret på vedvarende energi i 2035 (Vores energi 2011). Lavtemperatur fjernvarme forventes at være en del af løsningen om at nå en fossilfri varmeforsyning inden 2035. Desuden tager lavtemperatur fjernvarme hensyn til de reducerede varmebehov i lavenergibygninger, som gør traditionel fjernvarme uøkonomisk. For yderligere information om lavtemperaturfjernvarme i Danmark, dets potentialer og problemstillinger, se (Brand 2013).

ELFORSYNING

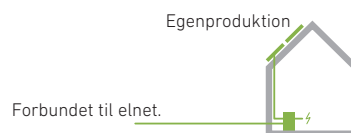


Fig. 52. Energiforsyning på bygningen



Fig. 53. Energiforsyning i ejerlav

STYRING AF FORBRUG OG PRODUKTION

Ud fra en samfundsøkonomisk synsvinkel er det vigtigt at se på boligen som en aktiv spiller i det samlede energisystem – ikke blot på forbrug og produktion i den enkelte bolig men på større grupper af "prosumenter" og deres samspil med el- og varmenet. Den tidsmæssige styring af forbrug og produktion vil være overordentlig vigtig for at undgå for høje spidslaster – og dermed krav om dyre forstærkninger af nettene. For den enkelte bolig vil det formentlig, i praksis, komme til at foregå ved at varmeanlæg og elforbrug vil kunne styres også efter et dynamisk prissignal samt forbrugsprognoser baseret på vejr og brugervaner. Der ligger dog en særlig udfordring i at holde belastningen af elnettet nede i de mørkeste og koldeste vintermåneder, såfremt eldrevne varmepumper bliver den almindelige opvarmingsform udenfor de kollektive forsyningsnet (og måske også elbiler). Her vil en god isolering og el-besparende installationer være en samfundsøkonomisk bedre løsning end fx kompenserede solcelle-el.

VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Hvor store VE anlæg man må opføre?
- Hvordan afregnes forbrug/produktion
- Hvordan styres forbrug og produktion (evt. Smart Grid?)
- Tjek gældende regler i og på området!


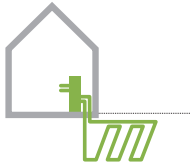

VALG AF VARMEFORSYNING OG -DISTRIBUTION

Der eksisterer ikke nogen generel løsning på det optimale design af bygningens varmesystem. Hver enkel bolig kræver individuel planlægning/vurdering baseret på de specifikke forhold på stedet. Som hjælp til design af den optimale system-

konfiguration er der blevet udviklet en metode, som hjælper til at udvælge og dimensionere de relevante forsyningsteknologier, så den energineutrale boligs særlige forudsætninger/krav imødekommes på den mest omkostningsoptimale måde. Læs mere herom i (Milan 2014).

I (fig. 54) illustreres mulige kombinationer af varmekorsningskilder og distribution af varme. I princippet kan alle de illustrerede distributioner til opvarmning fungere, men er ikke lige gode ved alle de viste forsyningstyper. Varmeafgiverens opbygning og styring er meget vigtig for energiforbruget.

VARMEFORSYNING

Distribution	Forsyning		
	FJERNVARME 	VARMEPUMPE (VP) (fx med jordslanger) 	VARMEPUMPE MED SOLFANGERANLÆG 
Brugsvand	Ved lav fremløbstemperatur kan der være særlige udfordringer, bl.a. sikring mod legionella bakterier. En løsning kan være brug af en gennemstrømningsvandvarmer. Dette er samtidig en mere kompakt løsning sammenlignet med en traditionel beholder-løsning.	Afkastluft kan anvendes som varmekilde ved en luft-væske varmepumpe	Stort solbidrag. Om sommeren vil VP køre meget lidt
Højtemperatur (HT) varmeanlæg	OK: Radiatorer, konvektorer	Kun få VP typer egnede til HT radiatorvarme, ikke så effektive	Kun få VP typer egnede til HT radiatorvarme, ikke så effektive. Lille solbidrag
Lavtemperatur (LT) varmeanlæg	Store radiatorer eller termisk aktive flader	Mange VP typer Store radiatorer eller termisk aktive flader	Mange VP typer Store radiatorer eller termisk aktive flader Noget solbidrag
Luftvarme*	Varmeflade(r) i indblæsning	Varmeflade(r) i indblæsning, evt VP i hvert rum	Varmeflade(r) i indblæsning
Indflydelse på bygningsdesignet	Plads til beholder og/eller varmeveksler	Se afsnittet Varmepumper	Se afsnittet Solvarme

*Luft må ikke udgøre den eneste opvarmning.

Fig. 54. Varmeforsyning og distribution af varme.

VARMEPUMPER

48

Når vi ser på, hvordan boligen skal opvarmes, kræver det, at man tager stilling til dels varmeforsyningen og fordelingssystemet, der leder varmen rundt i huset (se afsnittet Opvarmning). Eksempler på individuel varmeforsyning for den energineutrale bolig er jordvarme, luft-vand varmepumpe og solvarme (se afsnittet Solfanger).

En varmepumpe hæver temperaturen fra en varmekilde til et højere niveau på bekostning af en vis mængde tilført højkvalitetsenergi, oftest elektricitet. Varmepumpen er interessant til boliger, fordi der typisk kan hentes 3 gange så meget nyttigt varme ud, som der tilføres i form af dyr elektrisk energi (fig. 55). Man får derfor 3 gange så meget for pengene som ved ren elvarme. Hvis el til varmepumpen er miljøvenligt fremstillet, er der således tale om en fuldt ud bæredygtig form for varme-

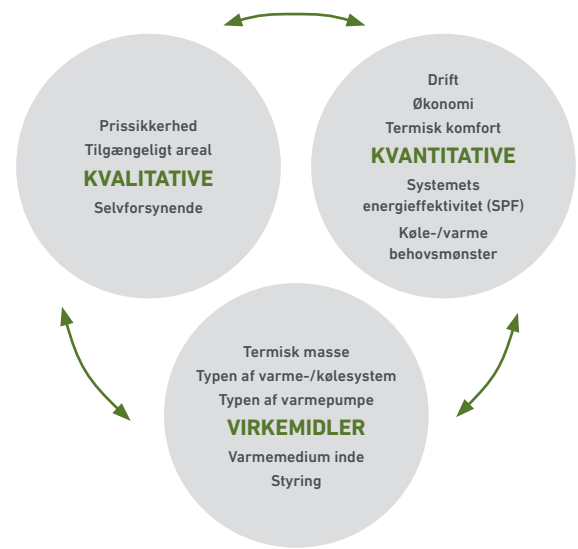
forsyning. En varmepumpe fungerer ved at en gas i en lukket kreds komprimeres og kondenseres til væskeform og herved afgiver varme. Den mistede varme hentes ind fra omgivelserne ved at væsken fordampes igen et andet sted i kredsløbet. Fordamperen kan for eksempel have forbindelse til udeluften, afkastluft, eller til en rørkreds ud i jorden som hermed afkøles i løbet af varmesæsonen. For at få mest mulig varme ud pr enhed el, er det vigtigt at temperaturforskellen mellem den varme og den kolde side er så lille som mulig. Derfor er (forholdsvis varm) jord en bedre varmekilde om vinteren end udeluft, ligesom et stort gulvvarmeanlæg er en bedre varmeafgiver end en lille radiator. Det er desuden vigtigt at varmepumpen kører så kontinuerligt som muligt, hvorfor varmepumper med variabelt omdrejningstal, alt andet lige, er mere effektive end on/off regulerede typer. I et varmesystem baseret på varmepumpe vil der altid indgå en elpatron til at dække spidslaster. Vær opmærksom på, hvor meget strøm elpatronen bruger, da dens elforbrug kan løbe løbsk.

JORD SOM VARMEKILDE

Et jordvarmeanlæg med væske-vand varmepumpe udnytter vedvarende energi fra jorden til opvarmning af boligen. Man skelner primært mellem to typer jordvarmeanlæg; anlæg med vandret slange og anlæg med lodret slange.

Typen af jordvarmeanlæg vil påvirke varmepumpesystemets ydeevne, energibehovet til hjælpe-pumpe og installationsomkostninger. Valget af den mest hensigtsmæssige type jordvarmeanlæg for et givet boligprojekt er normalt afhængig af tilgængeligt areal, energimæssig ydeevne og økonomiske omkostninger i et livscyklusperspektiv. (Pavlov 2014). Selve varmepumpen fylder ikke mere end et stort køleskab og kan placeres i kælder, bryggers el. lign.

ASPEKTER I SPIL



Figur 56 viser en oversigt over almindelige typer varmepumper. Generelt kan man sige at de væskebaserede systemer er mest universelle og bedst til helårsdrift uden supplerende forsyning, mens de luftbaserede fungerer bedst i sommerhalvåret. I alle tilfælde er det afgørende for driftsøkonomien at varmeanlægget er dimensioneret korrekt.



Fig. 55. Princippet i en varmepumpe.

Varmemedium inde	Varmekilde for varmepumpe (VP)			
	Ventilationsluft	Udeluft	Jord/vandret slange	Jord/lodret slange
Luft	X (eftervarme)	X (decentrale VP)	(X)	(X)
Vand	X (kun brugsvand)	X (central VP)	X	X (sjælden)

Fig. 56. Oversigt over almindelige typer varmepumper.

Software værktøjer som EED og TRNSYS tillader bygningsdesignere at vurdere – på forskellige niveauer af detaljer og kompleksitet – ydeevnen af anlægget og forskellige drift- og kontrolstrategier og kan derfor være med til at sikre integrationen af alle faktorer samt systemets energieffektivitet og bæredygtighed på lang sigt. (Pavlov 2014)

Jordvarmeanlæg er forbundet med høje investeringsomkostninger sammenlignet med konventionelle HVAC-systemer. Til gengæld, hvis de er korrekt udformet, kan de resultere i væsentlige reduktioner i drifts- og vedligeholdelsesomkostninger. Driftsomkostningerne er påvirket af prisen på el samt af jordvarmesystemets effektivitet (SCOP). (Pavlov 2014)

DESIGNPRINCIPPER

JORDVARMEANLÆG LODRET SLANGE



- Enkelt eller dobbelt U-rør (Pex rør) varmeveksler indsættes i et vertikalt borehul (30-200m)
- Anvendes typisk hvor arealet er begrænset. Efter færdig installation fylder boringen ikke meget mere end 4 traditionelle havefliser
- Omkostningerne ved boringen er en væsentlig ulempe ved systemet
- Kræver en vandbåren varmeafgiver, fx radiator eller gulvvarme
- Risiko for forurening af grundvandet ved utætheder mellem borehul og jorden - kræver omhyggelig udførsel.

JORDVARMEANLÆG VANDRET SLANGE



- Pex rør nedgraves i render, typisk i en dybde på 0,6-1,5 m
- Kræver typisk et jordareal på 15-20 m² pr MWh årligt varmebehov inkl. varmt vand. (Jensen & Lindholm 2011)
- Direkte forbundet med de lokale klimaforhold pga. den lave installationsdybde
- Er dyrere at installere end luft-vand varmepumpen men også mere effektiv
- Kræver en vandbåren varmeafgiver, fx radiator eller gulvvarme.

LUFT-VAND VARMEPUMPE



- Inde (a): varmtvandsbeholder og rumopvarmning
- Ude (b): varmepumpe med ventilator. Skal integreres i boligens arkitektur
- Vær opmærksom på støj fra ventilator ift. placering af varmepumpen
- Er billigere at installere end jordvarmepumpen men mindre effektiv, da den påvirkes af lave udetemperaturer og luftens fugtighed
- Kræver en vandbåren varmeafgiver, fx radiator eller gulvvarme
- Bruger energi til afrimning.

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING FORSYNING OG VARMEPUMPER

- Valg af kollektiv (fx fjernvarme) eller individuel varmeforsyning?
- Gældende planrammer?
- Hvor store anlæg må der opføres?
- Hvordan afregnes?
- Hvordan styres forbrug og produktion? Tjek gældende regler!
- Valg af varmekilde til varmepumpe?
- Installation som giver brugeren information om, hvornår elpatronen benyttes og hvad det koster?

PROCES



I de indledende faser undersøges områdets tilkoblingsmuligheder og planrammerne.



Den potentielle anvendelse af varmepumpe (fx tilkoblet jordvarme) bør undersøges allerede i de tidlige faser af designprocessen, hvor bygningsdesignerne og konsulenter har mest mulig frihed i beslutningsprocessen. Det vil lette design af optimerede installationer, driftsstrategi og styresystem, så systemets potentialer og kvaliteter udnyttes fuldt ud.



Projektforslaget konkretiseres gennem detaljerede beregninger og systemerne dimensioneres.

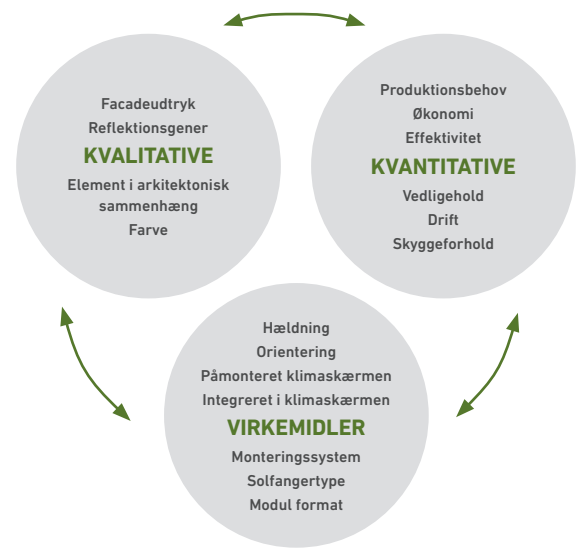
SOLFANGER

50

Solfangere kan være et godt supplement til boligens energiforsyning, såfremt bygningens udformning og beboernes forbrugsmønster passer til det. Solfangere omsætter solens energi til varme uden andet energiforbrug end lidt strøm til pumpe og styring.

Man opdeler normalt solvarmeanlæg i to kategorier; anlæg til varmt brugsvand og anlæg til rumvarme og varmt brugsvand (fig. 57). Solvarme til komfortkøling er også en mulighed, men er endnu ikke udbredt på det danske marked. Ud fra den forventede brugersammensætning og evt. forventet energibehov til opvarmning vurderes det, hvilket af de to typer anlæg der er behov for. Dette giver et tidligt (groft) overblik over solfangerareal, beholdervolumen og anlæggets optimale hældning - viden som kan inddrages i designet af bygningens overordnede geometri og orientering.

ASPEKTER I SPIL



Solvarme kan aldrig stå alene, men skal altid suppleres af en anden varmekilde. I den forbindelse er det vigtigt at se på prisen for den producerede varme i forhold til det solvarmen sparer, se figur 58.

Solvarmeanlæggets ydelse afhænger af anlæggets hældning og orientering (fig. 59) og i høj grad af det faktiske forbrugsmønster. Som tommelfingerregel skal der, som minimum, bo 3-4 personer med normalt varmtvandsforbrug for at investeringen kan forrentes. Et typisk solvarmeanlæg på 4 m² til varmt brugsvand, vil kunne yde op til 2000 kWh/år.

YDELSE OG DÆKNINGSGRAD

På grund af det lave rumvarmebehov i den energineutrale bolig vil den totale dækningsgrad til opvarmning og varmt vand kunne nærme sig 50% med et veldimensioneret solvarmeanlæg. Højere dækning kan i praksis kun opnås i meget store kollektive systemer med sæsonlager.

I forhold til et elproducerende solcelleanlæg vil et solvarmeanlæg levere 2-4 gange mere energi pr m², men "kun" i form af varmt vand. Ved et solcelleanlæg kombineret med varmepumpe vil man kunne opnå samme varmeydelse pr m², idet varmepumpen typisk omsætter 1 del el til 3 dele varme.

	Anlæg til varmt brugsvand	Anlæg til rumvarme og varmt brugsvand
Anvendelse	Er tilstrækkeligt til huse med meget lavt varmebehov, fordi der er meget lidt solenergi i de vintermåneder, hvor der faktisk er et varmebehov.	Kan med fordel vælges, hvis der er et vist rumvarmebehov i sommerhalvåret, fx til klinkegulve.
Solfangerareal	Ca. 1 m ² solfanger pr. person i husstand; typisk 4-5 m ² pr bolig	Ca. 2 m ² solfanger pr. person i husstand; typisk 7-12 m ² pr bolig
Beholdervolumen	Ca. 50 liter pr. m ² solfanger	Ca. 50 liter pr. m ² solfanger
Optimal placering	Skyggefrit, sydvendt ca. 45 grader fra vandret	Skyggefrit, sydvendt ca. 60 grader fra vandret

Fig. 57. Overordnede retningslinier for valg/dimensionering af solvarmeanlæg.

Basisforsyning	Økonomiske overvejelser	Tekniske overvejelser
Direkte elvarme	Næsten altid en god idé	Uproblematisk
Eldrevet varmepumpe	God idé ved stort sommerforbrug	Vælg gerne samlet løsning
Fjernvarme	Normalt ikke lønsomt	Formindsket afkøling

Fig. 58. Økonomiske og tekniske overvejelser ved en række basisforsyningsmuligheder, der skal supplere solvarmen.

BRUG AF ANLÆGGET

I forhold til betjening af andre apparater kræver et solvarmeanlæg meget lidt af brugeren. Det vigtigste er, at holde øje med at anlæggets pumpe kun kører når der er sol og slukker om natten. Hvis der forefindes en elvarmepatron til supplerende varme, er det vigtigt at den kun er aktiv, hvis der ikke findes andre muligheder for opvarmning. Desuden skal trykket i solfangerkredsen aflæses engang imellem.

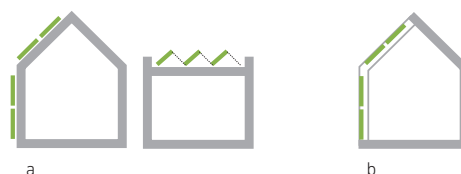
VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- De fleste solfangere fremtræder som næsten helt sorte elementer på 2-3 m², men der kan være stor forskel på udseende af rammer, fastgørelse og rørføring
- Orienteringens og hældningens betydning for ydelsen, se figur 59
- Solfangere skal gerne sidde skyggefrit, men ydelsen er ikke så følsom overfor delvis skygge som solceller
- Det er vigtigt at der ikke er for stor afstand fra solfangerne til beholder og varmeveksler, og det er vigtigt at rørene isoleres godt
- Hvis beholderen og rørene er utilstrækkeligt isoleret og ført indenfor klimaskærmen kan det give anledning til overophedning om sommeren
- Beholderen placeres i bryggers el.lign. og erstatter basisforsynings varmtvandsbeholder. Hvis der er tale om et større solvarmeanlæg, skal man huske at afsætte mere gulvplads til beholderen end for et traditionelt varmeanlæg
- Solfangere med vakuumrør har et markant anderledes udtryk end traditionelle plane solfangere, og er typisk op til 30% mere effektive end standard plane solfangere målt i forhold til det transparente areal.

Fig. 59 (til højre). Vejledende anlægsydelse ved forskellig orientering og hældning, sammenlignet med optimal ydelse ved 45-60° hældning mod syd [%]. Kan anvendes for både brugsvandsanlæg og små kombianlæg, når designet udvikles, da der ikke er stor forskel på vinkelkorrektionen. (www.altomsolvarme.dk)

DESIGNPRINCIPPER

PÅMONTERET ELLER INTEGRERET I KLIMASKÆRMEN



- Solfangerinstallationen kan monteres på taget eller facaden (a)
- Plane solfangere til integration af taget er muligt mod en merpris (b)
- Solfangerinstallationen kan monteres i vertikale eller horisontale grupper, og anlægget dermed tilpasses husets linjer
- Nogle solfangere følger formatet på bestemte ovenlysvinduer, hvormed ovenlys og solfangerne kan indgå som et samlet visuelt element (fig. 60).

SOLFANGERINSTALLATION SOM EKSTERNT ELEMENT



- Solfangerinstallationen kan monteres på sekundære bygninger (c) (fx garage eller skur) medførende større frihed i bygningsdesignet, orientering og tagets hældning m.m.
- Solfangerinstallationen kan placeres som et fritstående solvarmesystem, på grunden eller i forbindelse med en sammenslutning af flere bygninger
- Vær opmærksom på afstanden fra solfanger til beholder og anlæg samt isolering af rørene
- Som udgangspunkt gælder: jo større forbrug og dermed større solvarmeanlæg, jo bedre økonomi. (d).



Hældning° / Orientering	Syd	Sydøst/ Sydvest	Øst/Vest
15	90	87	79
30	97	91	78
45	100	93	76
60	100	91	72
75	95	85	66
(Lodret)	90	84	58



Fig. 60. Solfangere i kombination med ovenlysvinduer. Bolig for Livet, DK.

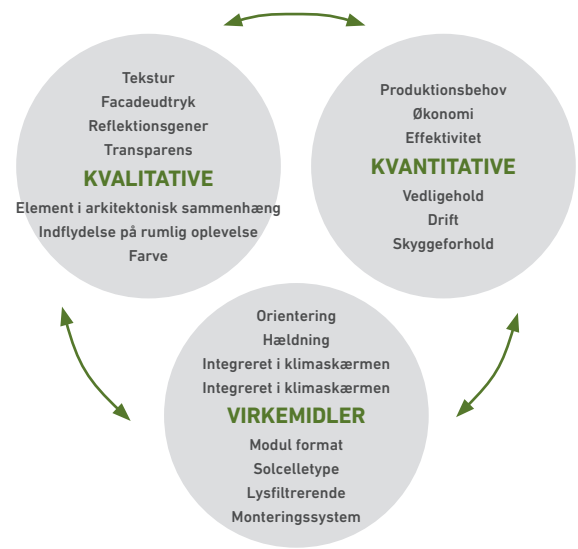
SOLCELLER

52

Solcelleanlæg er blevet en populær teknologi til egenproduktion af el i Danmark pga. høje elpriser/afgifter og gode vilkår for salg til nettet. Med et solcelleanlæg er man mindre afhængig af svingende energipriser, da man selv producerer el. Desuden kan der være en umiddelbar tilfredsstillelse i, at brugeren "selv" er med til at levere noget af den energi der bruges.

Desværre optræder solcellepanelerne ofte som fremmedartede elementer uden relation til den arkitektur, de er en del af. Vejen til en mere integreret løsning af solceller i arkitekturen kan være ikke blot at se solcellepanelerne som en energiproducerende teknologi, men i stedet som et byggemateriale, hvis æstetiske og tekniske kvaliteter og begrænsninger man må kende, for at kunne anvende det optimalt.

ASPEKTER I SPIL



VÆR OPMÆRKSOM PÅ

- Orienteringens og hældningens betydning for ydelsen (fig. 61)
- Valg af solcelletype, fx effektivitet, pris, udtryk (fig. 62)
- Format. Specialfremstillede paneler er væsentligt dyrere end standard (pt.), men kan være nødvendige for en æstetisk velintegreret løsning. Det kræver ekstra opmærksomhed, hvis man kombinerer varierende formater og hældninger
- Skyggeforhold. Selv delskygger fra nabobygninger, træer, skorstene, murkroner, kviste, osv. kan reducere effektiviteten væsentligt (Dyck-Madsen & Bøndergaard, 2012). En detaljeret analyse er derfor vigtig for en realistisk vurdering af den forventede ydelse
- Gennemføringer og fastgørelse (vandtæthed og styrke)
- Solcellepanelernes temperatur kan nå omkring 80 °C. Det skal derfor sikres, at termiske udvidelser kan optages mellem panelerne og resten af bygningen
- Vedligehold. Glatte solcellepaneler med en hældning på minimum 20 ° betragtes som stort set vedligeholdelsesfri
- Tjek gældende regler for anvendelse af solceller i området samt for leverance til nettet.



	Vest	V-SV	S-SV	Syd	S-SØ	Ø-SØ	Øst
Hældning° / Orientering	90	60	30	0	-30	-60	-90
(Vandret) 0	85	85	85	85	85	85	85
15	83	89	93	94	93	90	84
35	79	90	97	100	98	91	80
40	77	90	97	100	98	91	79
60	70	83	92	95	93	85	72
75	62	75	83	86	84	76	64
(Lodret) 90	53	63	69	72	70	65	55

Fig. 61. En solcelle producerer el både i direkte sollys og i gråvejrs med dif-fust lysindfald omend med reduceret ydelse. Solcellepanelets orientering og hældning er væsentlige faktorer i systemets ydeevne. Der er dog relativ stor fleksibilitet, når blot man tager højde for dette i dimensioneringen af det samlede system. Sammenhængen mellem solcellepanelets orientering og hældning og dets effektivitet fremgår af denne figur. (Typisk anlæg beregnet med PVsyst 5.0 simuleringsværktøj (www.pvsyst.com))

Fig. 62 (herunder): Oversigt over forskellige typer solceller. Egenskaber og udtryk kan variere meget. Her ses de mest anvendte solcelletyper og et udvalg af deres karakteristika.

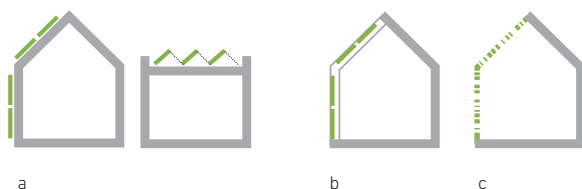
Solcelletype	Areal for 1 kW installeret effekt [m²]	Typisk årlig anlægsproduktion [kWh/m²]	Udtryk/farve	Andet
Monokrystallinsk	5-7	140-190	Sorte celler på hvid eller sort baggrund	Ydelsen falder med stigende temperatur
Polykrystallinsk	6-9	120-150	Mørkeblå celler på hvid eller mørk baggrund	Ydelsen falder med stigende temperatur
Tyndfilm, flere forskellige typer	8-16	50-110	Homogen sort eller brun flade med svag aftegnning af striber	<ul style="list-style-type: none">• Ydelsen falder kun lidt med stigende temperatur• Nogle typer er bøjelige• Lavt materiale- og energiforbrug i fremstillingen (sammenlignet med krystallinske)

HAR DU OVERVEJET...

OMKRING SOLFANGER OG SOLCELLER

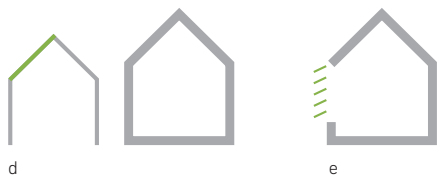
DESIGNPRINCIPPER

PÅMONTERET ELLER INTEGRERET I KLIMASKÆRMEN



- Integrerede solcelleanlæg (b) er dyrest, og det kan være vanskeligt at udskifte defekte komponenter fremfor et anlæg med åben bagside (a)
- Montage på et billigt undertag kan være et godt kompromis mellem integration og eftermontage (fig. 63)
- Ved facademontage skal der være ekstra opmærksomhed på skygger og hærværksrisiko
- Lysfiltrerende solceller integreret i glasfacade (c) (fig. 64).

SOLCELLEANLÆG SOM EKSTERNT ELEMENT



- Solcellene kan fungere som carporttag (d), pergola eller lignende, medførende større frihed i bygningsdesignet, orientering, tagets hældning m.m.
- Solceller integreret i solafskærmning (e) kan være relevant, hvis den er arkitektonisk begrundet. En undersøgelse af solceller integreret i brede, vandrette, drejelige lameller viser dog, at energigevinsten er relativ lille og løsningen kræver særlig opmærksomhed på lamellernes indbyrdes skygger, reduceret passiv solvarme og dagslys samt blanding (Johnsen et al. 2012).

YDELSE OG DÆKNINGSGRAD

Nettilsluttede solcelleanlæg er taknemmelige at regne på, idet ydelsen altid kan aftages. Selv om man kan beregne den årlige ydelse ret præcist, er den økonomiske besparelse dog vanskelig at fastslå, idet afregningsprisen for købt og solgt elektricitet ikke længere er den samme. For en typisk husstand vil det være realistisk at regne med, at 30% kan bruges direkte, og dermed kan denne del sidestilles med elbesparelser. De øvrige 70% må enten sælges til den aktuelle takst, eller afsættes tvangsmæssigt som varme (brugsvand eller tung gulvvarme). De pågældende tal gælder for et anlæg som på årsbasis modsvarende det årlige elbehov. Behovet for husholdningsstrøm kan fx være 4000 kWh, hvilket typisk kan dækkes af et anlæg på 5 kW og et areal på 40 m².



Fig. 63. Solcellepaneler som tagflade. Sunlighthouse, Østrig.



Fig. 64. Solceller i glasoverdækning af uderum. Light active house, Tyskland.

- Er det tilladt at anvende solfanger/-celler i området? Tjek gældende regler!
- Om husets ønskede geometri og udtryk kan passe sammen med solfanger og eller solcellepaneler?
- Gældende regler for afregning af el leveret til nettet?
- Om solfangerne/solcellerne kan fungere som carporttag, pergola eller andet?
- Om solfangerne/solcellerne vil kunne genere naboen ved blanding?
- Hvad kan man spare ved at undgå et traditionelt tag?
- Kombinationen solceller+varmepumpe som alternativ til solvarme?
- Om der er solfanger/-celler i ejerlav man kan tilknyttes?

PROCES



Det skal undersøges om der mulighed for at anvende solvarmepaneler i området (tjek kommunens planer) og er det bygherrens ønske?



Anvendelse af solfanger/solceller har betydning for bygningens overordnede form. Et tidligt (groft) overblik over solfangerareal og beholdervolumen indgår som designparameter under den tidlige skitsering. Opmærksomhed omkring skyggende elementer er også af stor betydning.



Ud fra valg af solvarme-/solcelleanlæg, og den bygningsmæssige integration af denne, beregnes den forventede energiproduktion. Evaluering og optimering foretages.



REFERENCER



REFERENCER

56

Agerskov, U. & Bisgaard, M.P., 2012.
Statistisk Årbog 2012. Danmarks Statistik.
ISBN 978-87-501-2000-1.

Aggerholm, S., 2011.
Energikrav til nybyggeriet 2020: Økonomisk analyse. 1 udg.
SBI forlag. SBI, nr. 18, vol. 2011.

Aggerholm, S., Heiselberg, P. & Bergsøe, N.C. 2008.
Hybrid ventilation i kontorer og institutioner.
Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, Hørsholm.
SBI, no. 19.

Bejder, A.K. 2012.
Aesthetic Qualities of Cross Laminated Timber.
Ph.d. afhandling, Aalborg University. Institut for Byggeri og
Anlæg, Aalborg. DCE Thesis, no. 35.

Boligforeningen Ringården 2014.
<http://dk01.jsmediatools.com/16970077857/MailView/#/20/>
[8. januar 2014].

BR10
Bygningsreglementet 2010, Energistyrelsen.

Brand, M. 2013.
Heating and Domestic Hot Water Systems in Buildings
Supplied by Low-Temperature District Heating. Ph.d.
afhandling, Danmarks Tekniske Universitet. DTU BYG,
Kgs. Lyngby.

Brunsgaard, C., 2010.
Understanding of Danish Passive Houses based on Pilot
Project Comfort Houses. Ph.d. afhandling, Aalborg
Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg.
DCE Thesis, no. 28.

Brunsgaard, C., Heiselberg, P. & Jensen, R.L. 2008.
The Architectural and Technical Consequences of Different
Window Details in a Danish Passive House. In W Feist (ed.),
Tagungsband zur 12. Internationalen Passivhaustagung: 11.
und 12. April 2008 in Nürnberg. Passive House Institute,
Darmstadt, Germany, pp. 455-460.

DS 447, 2013.
Ventilation i bygninger - Mekaniske, naturlige og hybride
ventilationssystemer, Dansk Standard.

DS 469, 2013.
Varme- og køleanlæg i bygninger, Dansk Standard.

DS/EN15251, 2007.
Input-parametre til Indeklimaet ved design og bestemmelse
af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende
Indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik,
Dansk Standard.

Dyck-Madsen, S. & Bøndergaard, M.R., 2012.
Bygningsintegreret energiproduktion - Kortlægning af det
danske marked for bygningsintegrerede VE-løsninger til el og
varmeproduktion. 2. udgave, Det Økologiske Råd.
Kan downloades: <http://www.winkas.dk/wkwebshop/varede-taljer.asp?shopid=851152&unique=218> [16 Januar 2014].

Entwistle, J. 2011.
http://files.portal.aau.dk/filessharing/download?filename=aau/nvc/zeb/~pub/Temamoeder/Jan18012011/Johanne_ZEB_seminar.pdf [3. januar 2014].

Gram-Hanssen, K., 2014.
New needs for better understanding of household's energy
consumption - behaviour, lifestyle or practices? Architectural
Engineering and Design Management, Volume 10, Issue 1-2.

Hauge, B., 2011.
LYS & LUFT - fra 'anvendelse' til 'forståelse'. Slides fra
præsentation ved ZEB temaseminar. http://files.portal.aau.dk/filessharing/download?filename=aau/nvc/zeb/~pub/Temamoeder/Jan18012011/Bettina_ZEB_seminar.pdf
[3. januar 2014].

Jensen, J.B. & Lindholm, D., (red.) 2011.
Den lille blå om varmepumper, Dansk Energi.

Jensen, J. & Petersen, S., 2013.
Gode dagslysforhold i nye boliger kræver solafskærmning
og hybridventilation. I HVAC - magasin for klima- &
energiteknik, miljø, bygningsinstallationer & - netværk.
Nr. 9, september 2013, årgang 49. s. 26-30

Jensen, R.L., Nørgaard, J., Damiels, O. & Justesen, R.O., 2011.
Resultater: bygningsintegreret energiforsyning.
Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg.
DCE Technical Reports, nr. 7

Johnsen, K., Katic, I., Schmidt-Petersen, H., Sørensen, H.,
Pedersen, U. & Årø, D., 2012.
Elproducerende solafskærmninger. vol. SBI 2012:02, SBI
forlag.

Jørgensen, D.M., Christensen, A.H., Hansen, L., Nielsen, S.B.,
Huet, J-M., Christensen, A.B., Larsen, E.D., Lux, D., Jacobsen, L.,
2012.
Intelligente energiydelser i lavenergiboliger baseret på
brugerdriven innovation. Teknologisk Institut, PSO - P1388088.

Jørgensen, K.G. & Lyngsgaard, S., 2013.
CRADLE TO CRADLE® i det byggede miljø, Udgivet af Vugge til
Vugge Danmark og GxN. Publikationen kan hentes på
<http://www.vuggetilvugge.dk/byggemanual> [17 Januar 2014].

Knudstrup, M-A. 2004.

Integrated Design Process in Problem-Based Learning: Integrated Design Process in PBL. In: Kolmos, A., Fink, F.K., Krogh, L. (eds.) (ed.), The Aalborg PBL Model : Progress, Diversity and Challenges. Aalborg Universitetsforlag, Aalborg, pp. 221-234.

Knudstrup, M-A 2010.

How can we adapt education programmes to the architecture of the future? Nordisk Arkitekturforskning, vol 22, no. 1/2, pp. 61-74.

Larsen, T.S. 2011.

Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri: med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri. Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg. DCE Contract Reports, nr. 100.

Larsen, T.S. 2013.

Mini-guide til DGNB - Certificering af bæredygtigt kontorbyggeri i Danmark. Green Building Council Denmark. http://www.dk-gbc.dk/media/94949/miniguide_july_2013_screen_singles.pdf [16 Januar 2014].

Larsen, T.S. & Brunsgaard, C. 2010.

Komfort Husene: erfaringer, viden og inspiration. Saint-Gobain Isover a/s.

Larsen, T.S., Jensen, R.L. & Daniels, O. 2012.

Komforthusene: Målinger og Analyse af Indeklima og Energi-forbrug i 8 Passivhuse 2008-2011. Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg. DCE Technical Reports, nr. 126.

Le Dreau, J. 2014.

Investigation of energy flows in thermally activated building constructions in buildings. Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg.

Liu, M. 2014.

Intelligent Glazed Façades - new simulation models. Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg.

Lund, H. 2010.

The Role of Sustainable Buildings in 100% Renewable Energy Systems'. in e-nova - Internationaler Kongress 2010: Nachhaltige Gebäude. vol. 14, Fachhochschulstudiengänge Burgenland, pp. 1-8.

Löhnert, G., Dalkowski, A., Sutter, W., 2003.

Integrated Design Process - A guideline for sustainable and solar-optimised building design, International Energy Agency (IEA) Task 23 Optimization of Solar Energy Use in Large Buildings, subtask B.

Madsen, K., 2013.

Alle skal med. I Energiforum Danmark, december 2013, s. 5-7. http://www.energiforumdanmark.dk/fileadmin/Artikler/Blad_5_-_2013/Sider5-7.pdf [03 Januar 2014].

Madsen, M. & Hansen J. S., 2011.

Om lys - evidensbaseret lysdesign. Kapitel i Hau, I. C. (red.) Agenda / Fremtidens sunde indeklima. Dansk Arkitektur Center (DAC), København.

Mathiesen, B.V., Lund, H. & Karlsson, K., 2009.

IDA's klimaplan 2050: Tekniske energisystemanalyser og samfundsøkonomisk konsekvensvurdering - Baggrundsrapport. Ingeniørforeningen i Danmark, IDA, København V.

Milan, C., 2014.

Integration and Optimization of Renewable Energy Systems for Housing. Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Energiteknik, Aalborg

Mortensen, A., Heiselberg, P., Knudstrup, M-A., 2014.

Economy Controls Energy Retrofits of Danish Singlefamily Houses : comfort, indoor environment and architecture increase the budget. In: Energy and Buildings, Vol. 72, No. April, 2014, pp. 465-475.

Nielsen, S. 2014.

District Heating and ZEB, Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Planlægning, Aalborg.

Olesen, B., Afshari, A., Bjarne, W., Le Dréau, J., Foldbjerg, P.,

Jensen, S.Ø., Larsen, T.S., 2013.

Definition of the indoor environmental quality - ZEB report. Strategisk forskningscenter for energineutralt byggeri.

Olesen, G.G.H., 2014.

A Model for Enquiry of Sustainable Homes - of Model Home 2020. Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Arkitektur og Medieteknologi, Aalborg.

Pavlov, G., 2014.

Thermal Energy Storage in Buildings. Ph.d. afhandling, Danmarks Tekniske Universitet. DTU BYG, Kgs. Lyngby.

Persson, M-L., Roos, A., Wall, M., 2006.

Influence of window size on the energy balance of low energy houses. Energy and Buildings 38, pp. 181-188, Elsevier.

Petersen, M.D. & Knudstrup, M-A., 2013.

Approaching Environmental Issues in Architecture: A Single Case Study of a Design Process in Practice, The International Journal of Design Management and Professional Practice, vol 64.

REFERENCER

58

Ravn & Grimmig, 2011.

EnergyFlexHouse - Udvikling af energieffektiv teknologi til de globale udfordringer. Teknologisk Institut. Blichuren kan downloades: <http://www.teknologisk.dk/projekter/energyflexhouse> [03 Januar 2014].

Regeringen, 2009.

Strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger ISBN: 978-87-92480-14-9, ISBN elektronisk publikation: 978-87-92480-15-6. Publikationen kan hentes på Erhvervs- og Byggestyrelsens hjemmeside: www.ebst.dk.

Regeringens klimaplan, 2013.

På vej mod et samfund uden drivhusgasser, Klima-, Energi og Bygningsministeriet, København.

SBI anv. 202.

Andersen, K.T., Heiselberg, P., Aggerholm, S 2002. Naturlig ventilation i erhvervsbygninger - beregning og dimensionering. SBI anvisning 202, Statens Byggeforskningsinstitut, København

SBI anv. 213.

Aggerholm, S. & Grau, K., 2008. Bygningers energibehov - Beregningsvejledning. SBI anvisning 213, Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm.

Strategisk forskningscenter for energineutralt byggeri, 2014. www.zeb.aau.dk.

Vlasova, L. & Gram-Hanssen, K., 2014 (forthcoming).

Towards sustainable renovation, submitted for Building Research and Information.

Vores Energi, 2011.

Udgivet af regeringen, Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. http://www.ens.dk/sites/ens.dk/files/politik/dansk-klima-energi-politik/regeringens-klima-energi-politik/vores-energi/vores-energi-web_0.pdf [16 Januar 2014].

Voss, K., & Musall, E., 2011.

Net Zero Energy Buildings - International projects of carbon neutrality in Buildings. DETAIL Green Books, Munich, Birkhäuser.

Winther, F.V., 2013.

Intelligent Glazed Facades: an experimental study. Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg. DCE Thesis, no. 43.

www.altomsolvarme.dk [8. januar 2014].

www.enob.info/en/net-zero-energy-buildings/map/. EnOB - Research for Energy Optimized Building. [3. januar 2014]

www.pvsyst.com. PVsyst Photovoltaic Software. [25. april 2014]

Anne Kirkegaard Bejder: s. 6, s. 12, s. 29 fig. 33 (begge billeder), s. 30 fig. 34 og 35, s. 34 fig. 39 (begge billeder), s. 37 fig. 40 og 41, s. 38 fig. 43 (begge billeder), s. 39 fig. 44, s. 41 fig. 47, s. 42 fig. 48, 49 og 50.

Camilla Brunsgaard: s. 22 fig. 24 (øverste og nederste billede).

Gitte Gylling Hammershøj Olesen: forsidebillede, s. 24, s. 27 fig. 29, s. 28 fig. 31, s. 29 fig. 32, s. 43 fig. 51 (alle tre billeder), s. 44, s. 51 fig. 60, s. 53 fig. 63 og 64, s. 54.

Kirstine Falk: s. 40 fig. 45.

Lind & Risør A/S: s. 27 fig. 28.

Mary-Ann Knudstrup: s. 19 fig. 16, s. 22 fig. 24 (midterste billede), s. 23 fig. 25 (to øverste billeder), fig. 26 (begge billeder), s. 27 fig. 30, s. 33 fig. 37, s. 34 fig. 38, s. 41 fig. 46.

Michael Luring: s. 23 fig. 25 (nederste billede), s. 30 fig. 36.

Teknologisk Institut: s. 22 fig. 22, fig. 23 (begge billeder).

Saint-Gobain ISOVER A/S: s. 20 fig. 19.

Søren Riis Dietz: s. 19 fig. 15 er venligst udlånt af Søren Riis Dietz, Bjerg Arkitektur A/S.

